
كيمياء التصوير الفوتوغرافي
تأليف
جورج ت. إيتون
ترجمة
سعد عبد الرحمن قليح
مراجعة
د. أحمد مصطفى

الغلاف ــ تصميم الآنسة عصمت عبد الحميد

اهداءات ٢٠٠٢
د/محمد عبد الفتاح الغمراوى
الاسكندرية

الألف كتاب ٦٨٢

كيمياء التصوير الفوتوغرافى

للفيلم الأبيض والأسود والفيلم الملون

باشراف
الهيئة العامة
للكتب والأجهزة العلمية
بوزارة التعليم العالى

هذه ترجمة كتاب :

PHOTOCHEMISTRY

IN BLACK & WHITE AND COLOR PHOTOGRAPHY

تاليف :

GEORGE T. EATON

المحتويات

مقدمة المؤلف

هذا الكتاب موجه أساسا إلى العاملين فى التصوير الفوتوغرافى ، أو فى الصناعة الفوتوغرافية ، الذين لم يتح لهم إلا قدر ضئيل جداً من التأهيل التدريبى فى الكيمياء ، أو الفيزياء ، أو النظرية الفوتوغرافية ، وكذلك الذين لم يحظوا حتى بذلك القدر الضئيل . فقد كتب هذا الكتاب بهدف أن يوفر لهؤلاء جميعا قدراً أحسن من الفهم للعملية الفوتوغرافية ، ومن ثم للمهام التى يطالبون بالقيام بها فى عملهم اليومى .

وتتضاعف مجالات استخدام التصوير الفوتوغرافى يوما بعد يوم ، وبالذات فى الصناعة والعلم . الأمر الذى يحتاج إلى من هم على درجة عالية من التأهيل . وهناك بالتالى ميل متزايد فى الصناعة الفوتوغرافية ، والاستديوهات التجارية للمحترفين ، وفى المعامل الفوتوغرافية ، وبقية أنواع الاستديوهات ، إلى الاستعانة بموظفين قد نالوا قسطاً من التدريب الفوتوغرافى ، وإلى دفع الموظفين الحاليين ، أو نصحهم بالالتحاق بالمدارس المسائية لدراسة الفوتوغرافيا ، أو اتباع أى طريقة أخرى فى التدريب والدراسة . ويعتبر التعرف على القواعد الأساسية للتشغيل الفوتوغرافى وتفهمها ، أحد الضروريات الهامة فى هذا الاتجاه الجديد ، إذ إن جميع المواد الفوتوغرافية يجب أن تمر بمرحلة التشغيل . وكذلك لأن مستعملى المواد الفوتوغرافية قد أصبحوا أكثر وعياً بأهمية التشغيل الدقيق للمواد التى يستخدمونها ، كضمان للحصول على نتائج أكثر جودة ، وصور أقدر على الدوام لفترات زمنية أطول بعمليات أكثر اقتصاداً .

ونأمل فى أن هذه الدراسة المرتبة المنسقة للعملية الفوتوغرافية ، وبالذات لأساليب التشغيل الفوتوغرافى ، سوف تزيد من فهم القارئ لها .ولقد بذلت محاولة لتبسيط المعالجة الكيميائية خاصة ، ونأمل أن يغفر لنا القراء الذين نالوا

قدراً من التدريب فى العلوم ، ذلك القدر من الجرأة الذى تناولنا به هذه المسائل .

ولقد بنينا تنسيق واختيار مواد الكتاب على ما توافر لدينا من خبرة اكتسبناها من تدريس برنامج فى كيمياء التصوير الفوتوغرافى لطلبة معهد التكنولوچيا بروشستر لسنوات عدة .

ونرجو أن يكون الكتاب جديراً باهتمام القارئ العادى ، والمصور الفوتوغرافى المحترف أو الهاوى ، وباهتمام هؤلاء القائمين بالأعمال الفوتوغرافية فى المجالات الصناعية ، والعاملين فى وحدات الإنتاج فى الصناعة الفوتوغرافية ، بل ودارسى العلوم المدربين المشتغلين فى فروع العلم الفوتوغرافى الأخرى . ومن الممكن اتخاذ هذا الكتاب مرجعاً فى المدارس العليا ، والمدارس المسائية ، والمناهج الدراسية التكميلية التى تقام لتزويد الملتحقين بها بفهم أكبر للعملية الفوتوغرافية على مستوى المبادئ الأولية .

الباب الأول

العملية الفوتوغرافية

التصوير الفوتوغرافى هو عملية إنتاج تسجيل لموضوع ما بواسطة تأثير الطاقة الإشعاعية على مادة قد عولجت بطريقة كيميائية لإكسابها حساسية للضوء ، ثم معالجة هذه المادة بعد ذلك حتى لا يختفى التسجيل من عليها . وهذا هو ما يدل عليه فعلا المعنى الحرفى لكلمة الفوتوغرافيا — « أى التصوير الفوتوغرافى » — فهو عملية الرسم بالضوء . والخطوات التى تتخذ لإنجاز هذه المهارة تكون فى مجموعها ما يطلق عليه اسم العملية الفوتوغرافية .

وعلى مر السنين ، نالت خطوات العملية الفوتوغرافية الكثير من اهتمام الباحثين وجهودهم ، حتى أصبح فى الإمكان الحصول على الصور الحملية بالألوان والأبيض والأسود ، وكذلك التسجيلات الفوتوغرافية العديدة التى تستخدم فى العلوم والمهن والصناعة .

ومهما كان نوع الصورة أو التسجيل الفوتوغرافى المطلوب الحصول عليه ، فان العملية الفوتوغرافية تشتمل على مراحل التعريض ، والإظهار ، والتثبيت ، والغسيل النهائى . (ويطلق على الإظهار والتثبيت والغسيل النهائى اسم عملية التشغيل Processing) .

<u>التعريض الضوئى — Exposure</u> : وفى هذه المرحلة يتم توجيه الضوء بوسيلة أو بأخرى بحيث تستقبله مادة حساسة له . وسواء كان الهدف هو تصوير موضوع ما بواسطة الكاميرا ، أو عمل تسجيل فوتوغرافى لبعض الحقائق العلمية (باستخدام آلات أخرى غير الكاميرا) ، فان الضوء يؤثر على المادة منتجاً بين ثناياها ما يسمى بالصورة الكامنة Latent Image . ويعنى هذا أن المادة الحساسة

للضوء قد تأثرت بطريقة معينة جعلت من الممكن أن نحصل منها على صورة مرئية بعد معالجتها فى محلول الإظهار . ولا تستطيع العين المجردة عامة أن تدرك الصورة الكامنة ، فهى غير مرئية بالنسبة لها ومن ثم سميت بالكامنة .

الإظهار Development : من الضرورى أن تمر المادة الفوتوغرافية بعد استقبالها للتعريض الضوئى بعمليات كيميائية معينة ، حتى يتسنى لنا الحصول على الصورة النهائية . والإظهار هو معالجة المادة الفوتوغرافية التى تعرضت للضوء فى محلول يسمى بالمظهر (أو محلول الإظهار) لأنه يحول الصورة الكامنة إلى صورة مرئية ، أى يظهرها .

التثبيت — Fixation : يتمخض التعريض الضوئى عن تأثر جزء فقط من المادة الحساسة بالضوء . وفى المحلول المظهر يتحول هذا الجزء، أى الصورة الكامنة إلى صورة واضحة مرئية. أما ذلك الجزء الذى لم يتأثر بالضوء فى أثناء عملية التعريض ومن ثم لم يعانِ من أى تغير فى المحلول المظهر ، فيجب إزالته من على المادة الفوتوغرافية لتوفير أسباب البقاء والدوام للصورة .

وتستعمل لهذا الغرض محاليل كيميائية تسمى بحمامات التثبيت . وتسمى هذه هذه الخطوة من العملية الفوتوغرافية بالتثبيت . أى أن تثبيت الصورة يعنى التخلص من أجزاء المادة الفوتوغرافية التى تهدد دوام الصورة .

الغسيل — Washing : بانتهاء مرحلة التثبيت يصبح من الضرورى التخلص من المواد الكيميائية المتبقية على المادة الفوتوغرافيـــة ، والتى نتجت من التفاعلات الكيميائية التى تمت بين المحلول المثبت والمادة الفوتوغرافية . وإذا سمحنا لهذه المواد بالبقاء، فانها قد تؤثر على الصورة بمرور الوقت وتحطم معالمها . وتتم عملية الإزالة هذه بغسل المادة الفوتوغرافية بالماء الجارى . هذا مع ملاحظة أن المادة الفوتوغرافية قد تكون فيلماً أو لوحاً حساساً ذا دعامة من الورق أو الزجاج . وباستثناء بعض الطبيقات الخاصة للعملية الفوتوغرافية ، فانه يتم تخطيط مراحلها بما يكفل إنتاج صور دائمة نسبياً ، قادرة على البقاء فى حالة جيدة لفترة زمنية طويلة. ولتحقيق ذلك يجب أن تحظى العلاقة بين مرحلتى التثبيت والغسيل النهائى بأهمية فائقة .

وتشتمل أبسط عمليات التشغيل التى تتبع للحصول على السلبيات (الصور النجاتيف) أو الإيجابيات (الصور البوزتيف المطبوعة من السلبيات) ، على مراحل الإظهار والتثبيت والغسيل النهائى . ولكنّ من المرغوب فيه غالباً إدخال خطوات إضافية معينة على المراحل السابقة ، مثل استعمال حمام غسيل حامضى بين الإظهار والتثبيت ، من أجل توفير وسيلة أكثر دقة للتحكم فى جودة النتائج ، ولاختزال الأضرار التى تنشأ عن انتقال محلول الإظهار إلى حمام التثبيت بين ثنايا المادة الفوتوغرافية ، فى أثناء التشغيل :

تشغيل الصور العكسية : لا تحمل الصورة التى حصلنا عليها فى الدورة السابقة شبهاً بالموضوع الأصلى (أى الموضوع المصور) إذ إن الأجزاء البيضاء به قد تحولت فيها إلى مناطق سوداء . فى حين بدت أجزاؤه السوداء بيضاء فى الصورة . وتسمى هذه الصورة بالسلبية (أى الصورة النيجاتيف) . وإذا ما أردنا الحصول على صورة تشبه الموضوع الأصلى ، فانه لا بد من طبع السلبية على النوع المناسب من الورق الفوتوغرافى . وتسمى الصورة الناتجة بالإيجابية (أى الصورة البوزتيف) . وهناك تطبيقات للعملية الفوتوغرافية يكون من المرغوب فيها الحصول مباشرة على صورة إيجابية (بوزتيف) تشبه الموضوع الأصلى دون استغلال مرحلة الطبع ، (أى دون المرور بمرحلة السلبية المنفصلة) . وذلك كما فى حالة الأفلام السينمائية للهواة على الفيلم الأبيض والأسود ، والفيلم الملون . وكذلك فى حالة إنتاج الشفافيات الملونة فى التصوير الثابت ، وبعض أنواع الطبعات الملونة . ويقتضى ذلك إجراء تعديل لا يستهان به فى دورة تشغيل الصور السالبة — الموجبة السابق شرحها . ويسمى هذا التكنيك بدورة التشغيل العكسية .

ففى تشغيل السلبيات تعالج المادة الحساسة فى محلول الإظهار بعد استقبالها للتعريض الضوئى حتى نحصل على الصورة . وبعد ذلك يتم فى حمام التثبيت التخلص من أجزائها (أى أجزاء المادة الحساسة) التى لم تستقبل تعريضاً ضوئياً ، ومن ثم لم تتأثر بمحلول الإظهار . أما فى التشغيل العكسى فان السلبية الناتجة على الفيلم هى التى يتم التخلص منها ، بامرار المادة الفوتوغرافية المحتوية عليها فى محاليل ذات تركيب كيميائى معين . وبعد ذلك تعرض المواد الحساسة المتبقية للضوء ، ثم يتم إظهارها

بدلا من تثبيتها . والصورة النهائية الناتجة تشبه الموضوع الأصلى . وللغسيل برذاذ الماء أهمية فائقة فى هذا النوع من أنواع التشغيل،لأنه من الضرورى إزالة جميع



شكل رقم (١) صورة سالبة



شكل رقم (٢) صورة موجبة

المواد الكيميائية المتبقية على المادة الفوتوغرافية بعد انتهاء معالجتها فى كل محاول من محاليل التشغيل ، لمنع اختلاط المحاليل ببعضها (حتى لا تتلوث) . وكذلك فان عملية الغسيل فى نهاية دورة التشغيل العكسى أساسية لإزالة آثار المواد الكيميائية المتبقية على الصورة ، والتى قد تؤدى فى المستقبل إلى طمس معالمها .

تشغيل المواد الفوتوغرافية الملونة :

يجب أن تتكون الصورة الملونة فى أثناء الإظهار ، وأن تتخذ كافة الاحتياطات لعدم تحطيمها فى أثناء الخطوات التالية من خطوات عملية التشغيل ، ولقد أدت هذه الحقيقة إلى جعل تشغيل المواد الفوتوغرافية الملونة عملية معقدة . ولمنع التداخل والاختلاط بين المحاليل المستخدمة فى التشغيل ، وما يترتب على ذلك من ضعف فى نوعية الألوان ، تحظى عمليات الغسيل برذاذ الماء ، والخاضعة لنوع دقيق من التحكم والمراقبة ، بأهمية خاصة فى عمليات تشغيل المواد الملونة .

كيمياء التشغيل الفوتوغرافى :

تهتم كيمياء التشغيل الفوتوغرافى بالتفاعلات التى تجرى فى أثناء الإظهار والتثبيت والغسيل ... الخ . وكذلك تتناول عمليات ضبط تركيب المحاليل ومراقبة ظروف التشغيل (مثل درجة الحرارة) اللازمة للحصول على النتيجة المطلوبة . ويمكن تطبيق الكثير من تفاصيل كيمياء التشغيل- بدرجة متساوية من الأهمية - على كل من عمليتى تشغيل السلبيات ، والصور العكسية . وبالرغم من أن محاليل الإظهار المستخدمة فى تشغيل الصور الملونة أكثر تعقيداً من تلك المستخدمة فى تشغيل الصور الأبيض والأسود ، فان عمليات تشغيلها تشتمل على نفس التفاعلات الأساسية البسيطة المتضمنة عليها الأخيرة . وبناء على ذلك فانه من الممكن أن نناقش كل مرحلة من مراحل العملية الفوتوغرافية على حدة ، (ولقد قسمنا هذه المراحل من قبل إلى الإظهار والتثبيت والغسيل) . وبذلك نتحاشى التكرار الذى قد نقع فيه فى أثناء المناقشات الخاصة بتشغيل السلبيات ؛ أو الصور العكسية من النوعين الأبيض والاسود والملون . وحتى نستطيع إدراك هذه العمليات المختلفة فانه من الضرورى أن نلم بشىء عن تركيب المواد الحساسة للضوء ومدى استجابتها له . كما قد يساعدنا الاستعراض الموجز للتاريخ المبكر لكل من علم الكيمياء ، وعلم التصوير الفوتوغرافى على استنباط تفسير سهل للاصطلاحات الكيميائية الشائعة الاستعمال فى التصوير الفوتوغرافى ، إذ بلغ هذان العلمان الدرجة القصوى من الأهمية فى كل ما يتعلق بالعملية الفوتوغرافية المعروفة لنا فى هذه الأيام .

الباب الثانى

التاريخ الكيميائى للعملية الفوتوغرافية

(لم تقم لعلم الكيمياء بداية حتى عام ١٦٦١
ولم يبدأ التصوير قبل عام ١٧٢٧)

طوال السنوات من عام ٦٠٠ قبل الميلاد إلى ١٦٦١ بعد الميلاد تمت محاولات عديدة لوصف تركيب المادة . ولقد قرر إمبيدوكليس Empedocles فى عام ٤٥٠ قبل الميلاد أن المادة تتكون من أربعة جواهر عنصرية هى الهواءو المـاء والأرض والنار . وأعلن أرسطو Aristotle (٣٨٤ إلى ٣٢٢ ق. م) أن جميع المواد تحتوى على لب أساسى هو الذى يحمل السجايا الأربعة الأساسية للمادة ، وهى الدفء والبرودة والجفاف والرطوبة . ومن تجميع هذه السجايا فى أزواج تنشأ العناصر الأربعة التى ذكرها إمبيدوكليس . وفى أيامنا هذه تبدو هذه الآراء سخيفة حتى بالنسبة لرجل الشارع . ولكنه حتى عام ١٦٦١ لم يكن قد قام تعريف أو فهم صحيح للمادة ، إلى أن عرف روبرت بويل Robert Boyle العناصر والمركبات فقال : « إنى أعنى بكلمة عنصر ... أجساماً معينة بدائية وبسيطة ، أو الأجسام غير المختلطة التى لا تشوبها شائبة ، والتى لكونها لم تنشأ من أى من الأجسام الأخرى ، أو من بعضها البعض ، فانها هى مواد التركيب الأصلية التى تتألف منها تلقائياً جميع الأجسام الأخرى التامة المزج . والتى تتفكك إليها فى النهاية » . أو بعبارة أخرى العناصر ؛ هى أبسط أشكال المادة ، وهى تستطيع أن تتحد مع بعضها مكونة المركبات .

وخلال القرنين السابع عشر والثامن عشر مال جميع الرجال المتعلمين إلى أن يدلوا بدلوهم فى الكيمياء ، سواء الأطباء البشريون ، أو رجال القانون ، أو المعلمون

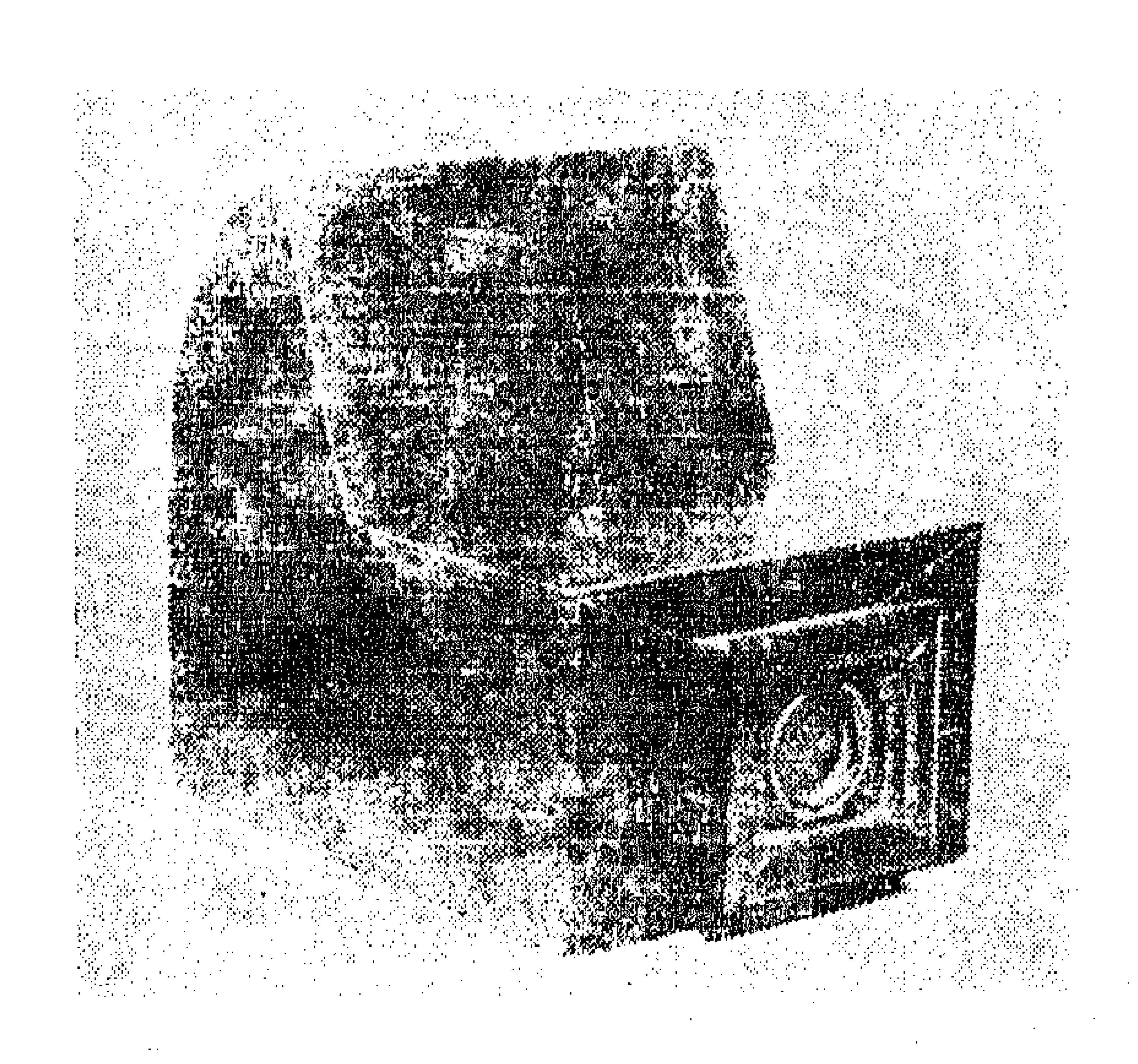
أو رجال الكهنوت ، على أمل اكتشاف شيء جديد . وأجروا تجارب على العناصر والمركبات المختلفة المتاحة لهم . وفي أثناء هذه الفترة بزغ الكثير من النظريات الأساسية في علم الكيمياء . وسوف نذكر فيما يلي بعض التجارب التي شكلت أسس علم التصوير الفوتوغرافي ، والعملية الفوتوغرافية .

ففي عام ١٧٢٧ أجرى ت. هـ. شولز T. H. Schulze بعض التجارب على مركبات الفضة . إذ كان في الحقيقة يحاول الحصول على انطباع لورقة نضاحة (استنسل) على أسطح مغطاة بمخاليط من الطباشير والفضة وحامض النيتريك وبعض المواد الكيميائية الأخرى . ولقد قرر أن كلوريدالفضة — وهو مركب يحتوى على عنصر الفضة متحداً مع عنصر الكلور — قد اسود (تحول لونه إلى الأسود) بتأثير الضوء . وكلوريد الفضة أحد المركبات الفائقة الأهمية في التصوير الفوتوغرافي .

وبعد مضى عشر سنوات ، كان هيلوت Hellot يحاول عمل حبر غير مرئي . ونثر في إحدى تجاربه محلولا من مركب نترات الفضة على الورق . ولاحظ أنه قد اسود عندما تعرض للضوء .

وفي عام ١٨٠٢ ، أي بعد التجربة السابقة بخمسة وستين عاماً ، كان ت. ويد جوود T. Wddgewood ، وهمفرى دافي Humphery Davy يحاولان إنتاج ظل (أو خيال) لجسم ما بواسطة تأثير الضوء ، وبنفس الطريقة التي اتبعها شولز تقريباً . واستعملا أوراقاً مغطاة بمحلول نترات الفضة ، وحاولا تعريضها للضوء وهي داخل الخزانة ذات الثقب Camera Obscura . وكانت الأخيرة عبارة عن صندوق ضوئي محكم ، به ثقب ضيق أو عدسة بسيطة عند المقدمة لتوجه الضوء إلى الورقة . ولم يوفقا في الحصول على صورة . وفي هذه التجربة تم للمرة الأولى استخدام العمليات الكيميائية والبصرية جنباً إلى جنب . وحصلا على صورة عندما كررا المحاولة مستخدمين أوراقاً مغطاة بكلوريد الفضة . ولكن الصورة لم تدم طويلا ، لأنه لم تكن قد عرفت بعد طريقة لإزالة كلوريد الفضة الذي لم يستخدم في التعريض الضوئي من على الورقة ، حتى لا يتحول لونه إلى الأسود ويطمس معالم الصورة . وبالصدفة قد وصف ليوناردو دافينشي في القرن السادس عشر

للمرة الأولى ، الخزانة ذات الثقب التي كان الفنانون يستعملونها في شف صورة على لوح من الزجاج الخشن Ground Glass في القرن السادس عشر . وحتى عام ١٨٣٧ لم يكن ج. ب. ريد J. B. Reade قد اكتشف بعد مقدرة ثيو سلفات الصوديوم ، أي الهيبو ، على إزالة المواد الكيمائية الحساسة للضوء من على مساحات الفيلم السالب أو الموجب التي لم تتعرض للضوء في أثناء التصوير أو الطبع . ويتفاعل الهيبو مع مركبات الفضة ليكون مركبات جديدة يمكن إزالتها من على الفيلم بامراره في حمام مائي . ومحلول الهيبو في الماء هو المثبت أو المحلول المثبت .

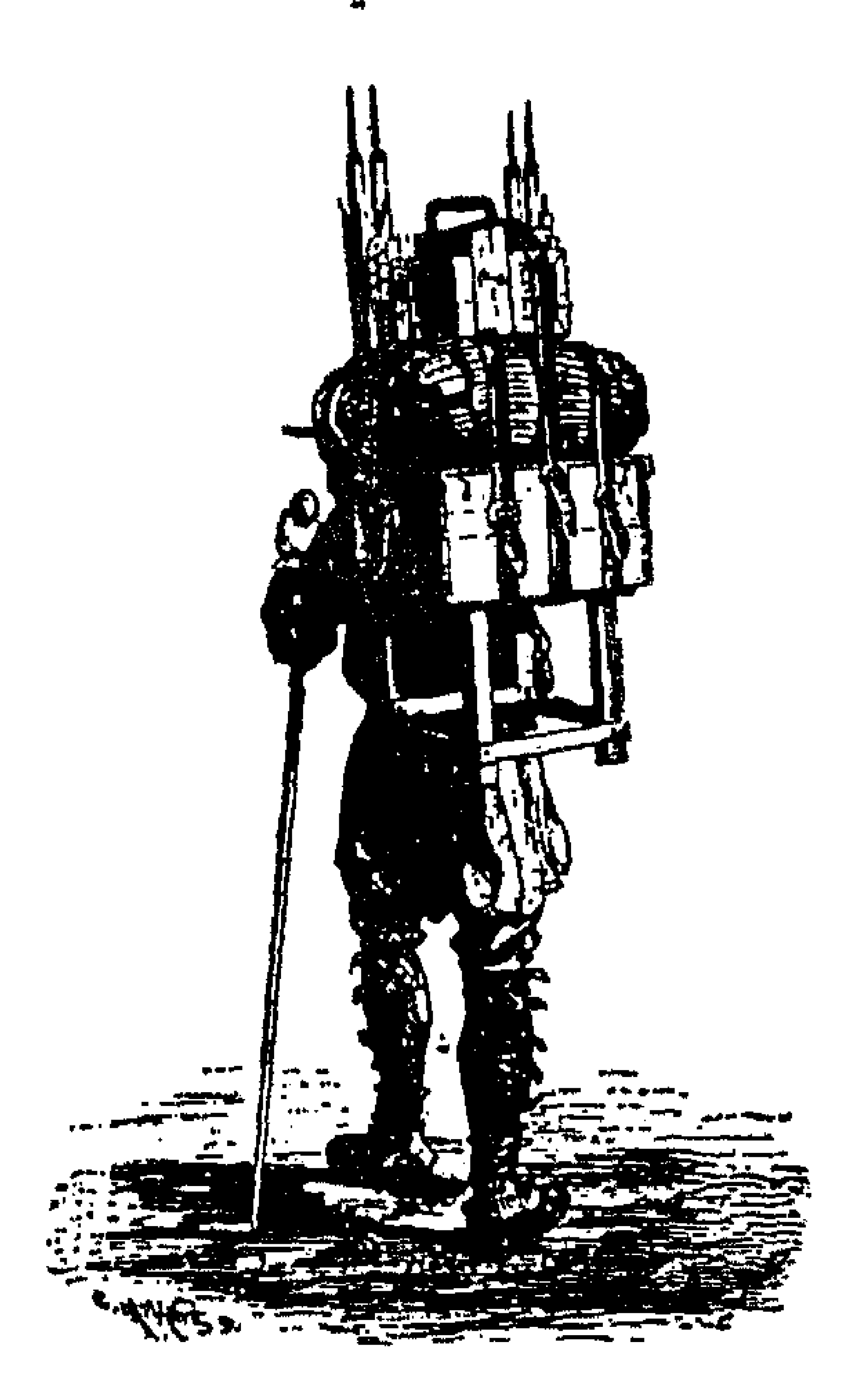


شكل رقم (٣) الخزانة ذات الثقب
كانت الصورة تنعكس من مرآة على شاشة عبارة عن لوح من الزجاج الخشن (أو المصنفر) بآكة محجبة مرفوعة . ويستطيع الفنان بوضع ورقة على لوح الزجاج أن يشف الصورة بالقلم

وفي غضون ذلك الوقت اقترح فوكس تالبوت Fox Talbot أنه لا بد من إيجاد محلول معين يستطيع أن يولد ، أو يظهر صورة على الأسطح التي عولجت من قبل لإكسابها حساسية للضوء بعد تعريض ضوئي يستغرق زمناً قصيراً .

وبعبارة أخرى يتم إنتاج الصورة المرئية بطريقة كيميائية بدلا من أن يتم إنتاجها كلية بتعريض المادة الحساسة للضوء لفترة زمنية طويلة . وقد أعان نجاحه الشخصي

فى هذه التجارب فى عام ١٨٤١ . وحصل من هذه العملية على صورة سالبة (أى نيجاتيف) بدت فيها الأجزاء السوداء فى الموضوع المصور بيضاء والعكس صحيح . كما كانت الصورة معكوسة (مقلوبة) أيضاً بالنسبة للشمال واليمين . ومن هذه السلبيات (النيجاتيف) طبعت صور إيجابية (بوزتيف) بدت فيها الدرجات



شكل رقم (٤)

مصور اللوح المبتل ، وهو يحمل ربطة مهماته الثقيلة . فقد كان من المحتم عليه أن يحمل على ظهره حجرة مظلمة متنقلة . ويقوم المصور بتغطية ألواحه (التى يستخدمها فى التصوير) بالعجينة الفوتوغرافية ثم يعود مسرعاً إلى تشغيلها فيها (قبل أن تجف) بعد أن تستقبل التعريض التعريض الضوئى داخل الكاميرا

اللونية بنفس علاقاتها القائمة فى الموضوع الأصلى . وهذه هى عملية الكالوتيب[1] Calotype التى تعتبر السلف الصالح للتصوير الفوتوغرافى . وتم للمرة الأولى الحصول على صورة يمكن حفظها لبعض الوقت تكونت على طبقة من المادة الحساسة للضوء بعد تعريضها وتشغيلها (تحميضها) بمعالجتها فى محلول الإظهار ثم محلول التثبيت .

---

(١) يمكن رؤية مجموعة من طبعات الكالوتيب الأصلية فى معرض شركة جورج ايستمان ، بروشستر ــ نيويورك . المؤلف

وتطلع الناس إلى عملية أكثر سرعة . وأدت تجارب عديدة إلى معرفة عملية اللوح المبتل التى ابتكرها سكوت آرشر Scott Archer فى ١٨٥١ . فقد صنع معلقاً من كلوريد الفضة فى النيتروسليلوز ، وفرشه على ألواح من الزجاج ، وعرضه للضوء مباشرة وهو مازال مبتلا ، ثم قام باظهاره . واستعمل دعامات من الزجاج بدلا من الورق . وبالرغم من أنها لم تكن مناسبة إلا أنها أعطت نتائج أكثر جودة. وما زال البعض يستخدمون هذه الطريقة حتى اليوم فى حرفيات فن الطباعة .

ولم تكن تلك الأداة المربكة المستخدمة مع الألواح المبتلة بالأداة المناسبة، ولكنه حتى عام ١٨٧٠ لم يتح شىء أفضل منها . وفى ذلك العام وصف دكتور مادوكس Madox طريقة لعمل عجينة فوتوغرافية ، بتوفير الأسباب لبروميد الفضة بأن يتكون فى محلول من الجيلاتين . وبعد ذلك يفرش المستحلب الناتج على دعامات تجفف قبل الاستعمال . وفى البداية لم يكن فى وسع المستهلك العادى أن يحصل على هذا النوع من المستحلبات، إذ كان يباع بكميات كبيرة ، ولكن الأسواق ما لبثت أن امتلأت بالمستحلبات، المفروشة على ألواح جافة . وأصبحت الألواح الجافة فى متناول اليد .



شكل رقم (٥) فردريك سكوت آرشر



شكل رقم (٦) وليم هنرى فوكس تالبوت

ولا تختلف القواعد الأساسية لتحضير وتصنيع العجائن الفوتوغرافية الحديثة اختلافاً كبيراً عن تلك التى قامت عليها صناعة الألواح الجافة المبكرة .

الكيمياء المبكرة :

وفى خلال مراحل تطور العملية الفوتوغرافية التى ذكرناها من قبل ، تم كشف النقاب عن كثير من النظريات الكيميائية المبكرة . وما إن جاء عام ١٨٠٣ حتى كانت تلك النظريات الفجة التى أعلنها الفلاسفة الإغريقيون والكيميائيون الأوائل ، قد أهملت تماماً . و فى عام ١٨٠٨ أعلن مدرس يدعى دالتون أن الذرات حبيبات محددة متماسكة من المادة لا تنقسم ، ولاتتأثر بأقوى التغيرات الكيميائية عنفاً وشدة . وتتآلف الذرات التى من نفس النوع مع بعضها مكونة العنصر . وهناك أنواع مختلفة من الذرات ومن ثم أنواع مختلفة من العناصر . وعندما تتحد الذرات المختلفة مع بعضها البعض ينتج الجزىء . ومجاميع الجزىء الواحد تكون المركب .

والمواد مثل النحاس والكبريت عبارة عن عناصر . والنحاس مادة صلبة ذات لون أحمر توصل الحرارة والكهرباء . والكبريت مسحوق متبلور يحترق بسهولة فى الهواء . وهو ليس بمعدن . « أى لا فلز » ولا يوصل الكهرباء . ولكنه عند تسخين برادة النحاس مع زهر الكبريت ، يتحد العنصران كيميائياً وينتج عن هذا الاتحاد مركب يسمى بكبريتيد النحاس . وهو لا فلز ، وله لون أسود ، ولا يوصل الحرارة أو الكهرباء ، ولا يحترق فى الهواء . وليس له أى من الصفات . أو المظهر المميز لأى من العنصرين .

والإعتام اللونى الذى ينتاب الأدوات الفضية مثال آخر مألوف لنا ، وسببه هو غاز كبريتيد الأيدروجين (الذى له رائحة البيض الفاسد) المستخلص من غاز الاستصباح والفحم . وعندما يتفاعل عنصر الكبريت الموجود فى الغاز مع عنصر الفضة ينتج المركب البنى اللون ؛ المسمى بكبريتد الفضة ، على أسطح الأوانى الفضية مسبباً إعتامها . ويشكل ملح الطعام العادى مثالا آخراً جديراً بالاهتمام . ويطلق الكيميائيون على هذا الملح اسم كلوريد الصوديوم . وكلا عنصريه : الصوديوم والكلور نشيطان للغاية . وكل منهما ضار إذا وجد بمفرده ، ولكنهما عندما يتحدان مع بعضهما البعض ، ينتج ملح الطعام عديم الضرر . وبفضل تلك الحقيقة التى تنص على أن

المركبات الناشئة عن التفاعلات الكيميائية تكون ذات صفات تختلف تماماً عن صفات مكوناتها الأصلية ، أصبحت العمليات الكيميائية التطبيقية مثل العملية الفوتوغرافية أمراً ممكناً . وبمرور الوقت أصبحت الألواح الجافة حقيقة تجارية ، وتم تعريف الذرات والعناصر والجزيئات . ولكن الغموض ظل يحيط بكيفية ارتباط الذرات مع بعضهما فى الجزىء ؛ وبسبب تفاعل عناصر معينة مع بعضها البعض وبكيفية ترتيب الذرات فى الجزىء . ولم يتم تفسير هذه المسائل إلا بعد سنة ١٨٩٧ . ومن الواضح أنه كان من المستحيل تقديم تفسير عن كيفية سير العملية الفوتوغرافية ومسبباتها من قبل أن يتم توضيح القواعد الأساسية لعلم الكيمياء . وما إن تحقق هذا حتى تقدمت الاختبارات العملية للمواد الكيميائية المختلفة المستعملة فى تصنيع العجائن وتشغيلها، وتمت طفرات كثيرة فى الممارسة الفوتوغرافية بالمحاولة والخطأ .

التصوير الفوتوغرافى بالألوان :

بعد اختراع سكوت آرشر لعملية اللوح الفوتوغرافى المبتل بزمن قصير ، قام كلارك ماكسويل Clerk Maxwell بشرح الطريقة التى حصل بها على أول صورة فوتوغرافية بالألوان أمام المعهد الملكى بانجلترا فى يوم ١٧ مايو ١٨٦١ . وبالرغم من أنه لم يكن قد حصل على صورة جيدة، إلا أنه قد وصف طريقة للحصول على الصور الملونة . فقد قام بتصوير منظر واحد على ثلاثة ألواح فوتوغرافية خلال ثلاثة مرشحات سائلة . (المرشحات — انظر الباب الرابع). وبعد تشغيل(أى تحميض) الألواح الثلاثة قام بطبعها للحصول على الصور الإيجابية (أى البوزيتف) . ثم عرض الصور الموجبة الثلاثة ، كل بآلة عرض منفردة ؛ ورتبت بحيث تتطابق الصور الثلاث على شاشة العرض ؛ بعد أن وضع أمام كل آلة من آلات العرض الثلاث نفس المرشح السائل الذى استخدمه عند التصوير .

وفى حوالى عام ١٨٥٩ اهتم الفرنسى لويس دوكس دى هورون Louis Ducos du Hauron بذلك المجال من مجالات التصوير الفوتوغرافى ، ووصف طريقته الأولى للحصول على الصور الملونة فى عام ١٨٦٩ . وقد أجمل القواعد الأساسية لكل العمليات الملونة التى قد تم اختراعها حتى ذلك الحين . وفى نفس الوقت قام شارلس كروس Charles Cross ؛ معتمداً على نفسه ، بوصف طرق

عديدة للحصول على الصور الملونة. ولكن؛ بالرغم من أنه قد تم بدقة تحديد قواعد عدة طرق للحصول على الصور الملونة فى ذلك الوقت المبكر؛ فانهم لم يستطيعوا إقامة طريقة تجارية للتصوير الملون؛ لعدم ملاءمة المواد الفوتوغرافية التى كانت متاحة لهم حينئذ . وتأخر ذلك حتى اكتمل تطور العملية الفوتوغرافية. وقد ساهم بدور عظيم فى مساعدة هذا التطور كل من اختراع مستحلبات هاليدات الفضة فى الجلاتين المفروشة على الألواح الجافة، وكذلك اكتشاف المواد الكيميائية المستخدمة فى إكساب الحساسية للمستحلبات (الباب الرابع) .

الباب الثالث

المستحلب الفوتوغرافى

المستحلب الفوتوغرافى هو المادة الحساسة للضوء المفروشة فوق الزجاج أو الورق أو الدعامة الفيلمية . وهى تتكون أساساً من مركبات الفضة الحساسة للضوء والمنتشرة فى الجيلاتين انتشاراً سوياً .

جاء فى التاريخ المبكر للعملية الفوتوغرافية أن مركبات الفضة وبصفة خاصة كلوريد الفضة وبروميد الفضة وأيوديد الفضة ذوى حساسية للضوء . وتتكون هذه المركبات بطريقة معينة فى أثناء تصنيع المستحلبات الفوتوغرافية . إذ يتم تحضيرها بالسماح لمواد كيميائية معينة بالتفاعل مع بعضها تحت ظروف خاصة . ويسهل علينا توضيح كيفية تكونها باستعمال اللغة الكيميائية .

هناك ٩٦ عنصراً كيميائياً معروفة ومألوفة لنا . وقد عمد الكيميائيون إلى ابتكار مجموعة من الاختصارات بحيث يمكن تمثيل كل عنصر برمز كيميائى مقتضب يميزه . فمثلا رمز الفضة هو « ف — Ag » ، من الكلمة اللاتينية Argentum . ورمز الكلور هو « كل — Cl » . ورمز الصوديوم هو « ص — Na » : من الكلمة اللاتينية Natrium ، وهكذا . وعندما يتحد اثنان أو أكثر من هذه العناصر فى تفاعل كيميائى ينتج مركب جديد . ويمكن وصف هذا التفاعل بمعادلة كيميائية كما يلى :

ص	+	كل	=	ص كل
الصوديوم	+	الكلور	=	كلوريد الصوديوم (ملح الطعام)

ويطلق الكيميائيون على هذا النوع من التفاعل الكيميائي اسم «الاتحاد» وعلى النوع المضاد له اسم التفكك (أو التحلل). وتعنى هذه المعادلة أيضاً أن كمية معينة من الصوديوم تتفاعل مع كمية معينة من الكلور بنسبة ذرة واحدة من الصوديوم إلى ذرة واحدة من الكلور.

ويمكن استخدام معادلات شبيهة لوصف تفاعلات أكثر تعقيداً بين اثنين أو أكثر من المركبات . وتسمى هذه التفاعلات بتفاعلات التحلل المزدوج (أو التبادل المزدوج) فمثلا عند إذابة نترات الفضة وكلوريد البوتاسيوم، كل فى كمية من الماء على حدة، ثم خلط المحلولين معاً فان المعادلة التالية تروى لنا ما يحدث بالاختصار الكيميائى :

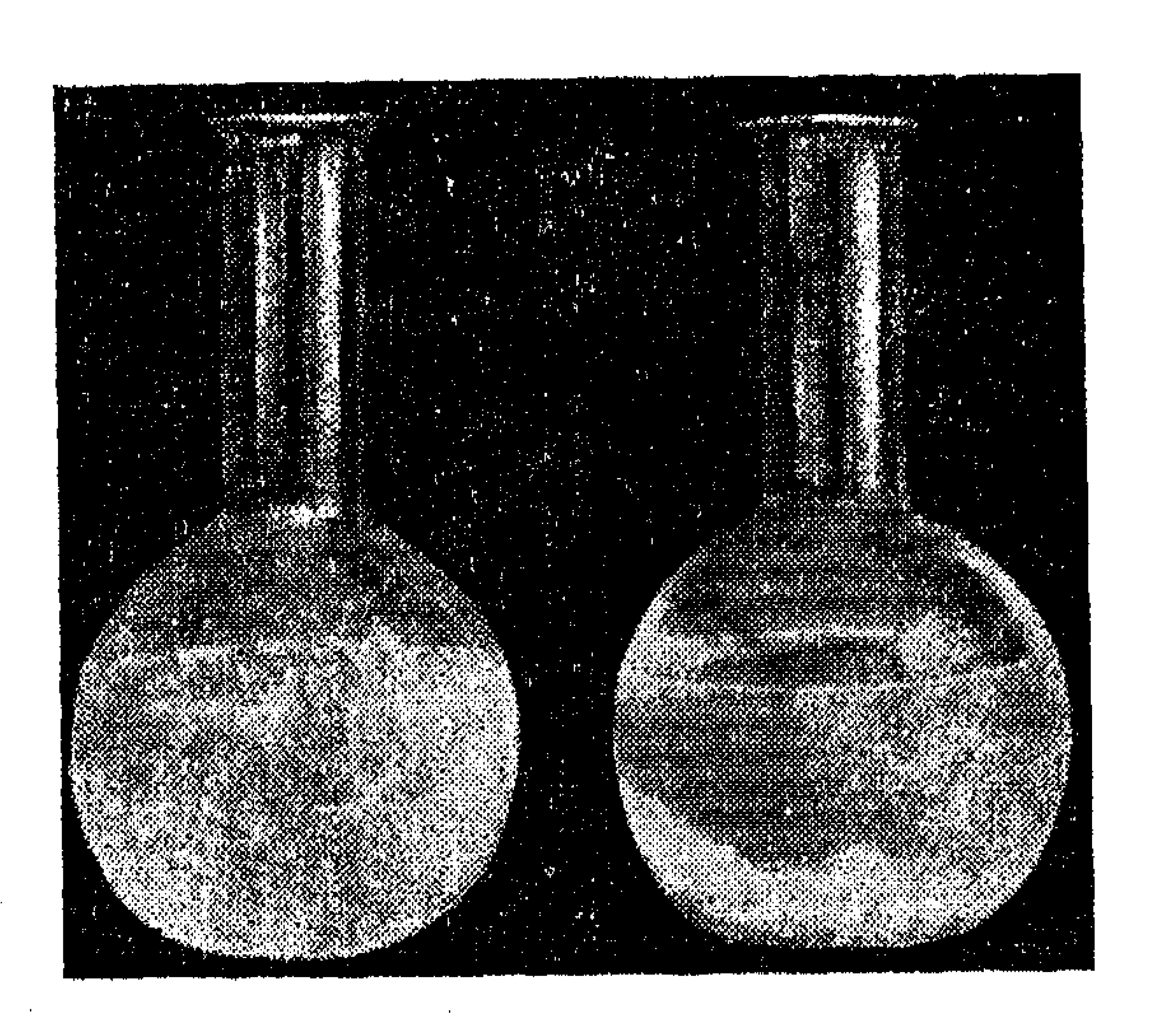
ف نأ٣ + بوكل = ف كل + بونأ٣

نترات الفضة   كلوريد البوتاسيوم   كلوريد الفضة   نترات البوتاسيوم

وحتى نصبح قادرين على فهم هذه المعادلة، فاننا نحتاج إلى التعرف على فكرة جديدة جاء وقتها عند هذا الحد من الحديث. إذ ترتبط بعض العناصر المعينة مع بعضها بأربطة قوية جداً فى تجمعات خاصة تسمى بالشقوق Radica's . وفى كثير من التفاعلات الكيميائية يسلك الشق كوحدة، متبعاً فى ذلك طريقة شبيهة بتلك التى تسلكها العناصر المنفردة . فمثلا تحتوى نترات الفضة فى المعادلة السابقة على المجموعة «نأ٣»؛ التى تتركب من ذرة واحدة من النيتروجين وثلاثة ذرات من الأكسجين، وتسمى هذه المجموعة شق النترات . ويسلك هذا الشق فى تفاعلات كثيرة كما لو كان وحدة فيصبح بذلك أكثر شبهاً بعنصر منفصل مثل الفضة أو الكلور أو البوتاسيوم . ولقد وضعنا خطاً تحت كلوريد الفضة فى المعادلة السابقة للإشارة إلى أنه يترسب لعدم قابليته للذوبان فى الماء بالمقارنة بنترات البوتاسيوم . وهذا هو التفاعل الرئيسى فى تصنيع المستحلب الفوتوغرافى . وإذا استعملنا بروميد البوتاسيوم (بوبر KBr) أو أيوديد البوتاسيوم (بوى KI) فى هذا التفاعل، فسوف تتكون على الترتيب

بروميد الفضة (ف بر — Ag Br) ، وأيوديد الفضة (ف ى — AgI) . وتعرف هذه المركبات الثلاثة — أى كلوريد الفضة ، بروميد الفضة ، وأيوديد الفضة — باسم هاليدات الفضة ؛ وهى تشكل الجزء الحساس للضوء فى المستحلبات الفوتوغرافية .

وعندما نخلط المحاليل المائية لنترات الفضة وكلوريد البوتاسيوم يتكون كلوريد الفضة بسرعة كبيرة جداً ، ويستقر عند القاع ؛ ،وهو مادة متكتلة على شكل بلورات كبيرة الحجم لا يمكن نشرها فى طبقة سوية على دعامة . ولا يتمتع كلوريد الفضة المتكون بهذه الكيفية بحساسية شديدة للضوء . ولكن حساسيته للضوء تزداد إذا استطعنا إبطاء التفاعل، بحيث تنتج بلورات كلوريد الفضة أصغر حجماً ، أو أكثر تجانساً فى مظهرها . وهذا هو ما يتم فعلا باستخدام الجلاتين فى المحاليل المائية . وبالإضافة إلى ما توفره هذه الطريقة من تحكم فى حجم بلورات الهاليد ، فانها تؤدى أيضاً إلى انتشار البلورات بكيفية متناسقة سوية فى محلول الجيلاتين .



شكل رقم (٧)

يظل كلوريد الفضة المتكون فى القارورة التى على اليمين معلقاً بسبب وجود الجيلاتين فى المحلول . أما فى الماء القراح الذى لا يحتوى على الجيلاتين فان كلوريد الفضة يستقر فى القاع ، كما فى القارورة التى على اليسار

وبفضل معرفة ذلك المعلق المتجانس السوى من هاليدات الفضة فى الجيلاتين والمسمى بالمستحلب الفوتوغرافى ، أصبح من الممكن الحصول على دعامات مناسبة (من الزجاج أو الورق أو الأفلام) مغطاة بالمستحلبات فى طبقات سوية (متجانسة) الكثافة ، ذات حساسية متجانسة للضوء . وكذلك يؤدى ترسيب أملاح الفضة هذه ، بين ثنايا الجيلاتين الى جعلها أكثر حساسية للضوء . وقد دلت تجارب أخرى على إمكان زيادة هذه الحساسية إلى أبعد من ذلك ، باضافة مركبات كيميائية أخرى (تعرف باسم مكسبات الحساسية) إلى مخلوط أملاح الفضة والجيلاتين .

الجيلاتين :

نظراً لما للجيلاتين من أهمية كبيرة فى تصنيع المستحلبات الفوتوغرافية ، ولتأثيره الكبير جداً على تشغيل المستحلبات فيما بعد ، رأينا أن نناقش صفاته المميزة .

تدخل الستة والتسعون عنصراً المذكورة سابقاً فى مئات الألوف من المجموعات مكونة مركبات مختلفة عديدة . وتنقسم هذه المركبات عامة إلى نوعين اثنين هما المركبات غير العضوية والمركبات العضوية . ويتواجد كلا النوعين فى الطبيعة . والكثير منها يتم عمله أو تخليقه فى المعامل الكيميائية . ولقد أطلق الاصطلاح « عضوى » أساساً على المركبات التى تتكون فى أعضاء النباتات والحيوانات . وهى تتميز أيضاً بأنها هى المركبات القابلة للاحتراق . وهى تشتمل على سبيل المثال على السكر والنشا والكحول . وتتركب أساساً من عناصر الكربون (ك — C) والهيدروجين (يد — H) والأكسجين غالباً (ا — O) ، وتحتوى أحياناً على النيتروجين (ن — N) ، والكبريت (كب — S) ، أو عناصر أخرى فى مجاميع متنوعة . وفى الناحية الأخرى نجد أن المركبات غير العضوية بصفة عامة غير قابلة للاحتراق . وهى تتركب من عناصر أخرى غير الكربون مثل النحاس والفضة والذهب والحديد والصوديوم والكبريت والكلورور والبروم وهكذا . وسوف نناقشها فيما بعد فى الباب الخامس .

والجيلاتين مادة عضوية معقدة جداً تستخرج من جلود الحيوانات وأظلافها . وهو يتركب من الكربون والأيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكبريت فى ترتيب نوعى خاص .

ولكن جزىء الجيلاتين من التعقيد بحيث لم يمكن بعد التعرف على النسب الحقيقية للعناصر الداخلة فى تركيبه . وتتوقف خواص الجيلاتين على مصدره وعلى التاريخ السابق لذلك المصدر . ويصدق هذا بالذات على خواصه الفوتوغرافية .

ويتم تحضير الجيلاتين المستخدم فى الأغراض الفوتوغرافية بعناية فائقة . وهو فى الحقيقة أكثر نقاء من الجيلاتين المستخدم فى الطهى المعروف لنا جيداً .

ويستخرج الجيلاتين عامة من الفضلات التى تتواجد فى السلخانات ، مثل الأظلاف والجلود . ويتم الحصول على الجيلاتين الفوتوغرافى من أظلاف وآذان الأبقار التى يتم اختيارها بدقة كبيرة . إذ يعتبر نوع الطعام الذى كانت تتغذى عليه هذه الأبقار فى حياتها عاملا هاماً ، يجب إدخاله فى الإعتبار . فهناك بذور حشائش معينة — مثل بذور المستاردة المنتشرة فى بعض المناطق — تستطيع أن تغير من الصفات الكيميائية المميزة للجيلاتين الذى يتم الحصول عليه من ظلف البقرة التى تغذت عليها . ويكون هذا التغير بالدرجة التى تكفى لأن تؤثر على المستحلبات الفوتوغرافية المصنوعة منه . وتعالج الأظلاف والآذان التى يتم اختيارها فى الماء المغلى لإزالة أية قاذورات من عليها . ثم تنقع لفترة زمنية طويلة قد تصل إلى عدة شهور فى محلول الجير (وتسمى هذه العملية بعملية التجيير) لإزالة الشعر والدهون والزلال . وبعد ذلك تغسل ، ثم تعالج فى النهاية بحامض مخفف لمعادلة الجير * (وتسمى هذه بعملية إزالة التجيير De-Liming) . والمادة الناتجة تسمى الكولاجن Collagen وهى المصدر المباشر للجيلاتين .

وبعد ذلك يعالج الكولاجين لتحويله إلى الجيلاتين تدريجياً . وتتم هذه المعالجة ببطء وعلى فترة زمنية طويلة بعض الشيء ، وتحت ظروف نوعية خاضعة للتحكم

(*) الجير مادة قلوية وله ملمس انزلاقى مثل الصابون ، فى حين أن حامض الخليك مادة حامضية تعطى للخل مذاقه اللاذع (المزز) . والحامض يقتل القلوى والعكس صحيح .

وعند مايتم القضاء على الجير الموجود كلية ، يقال عنه أنه قد تمت معادلته . (المؤلف)

والمراقبة : فاذا كانت المعالجة سريعة وقوية جداً فان الجيلاتين الناتج سوف يكون من نوع ردىء لا يلائم الأغراض الفوتوغرافية .

ولقد ذكرنا من قبل أن للجيلاتين أهمية فائقة فى تصنيع المستحلبات الفوتوعرافية لأنه يسمح بحدوث تفاعل كيميائى أبطأ بين المحاليل المستخدمة فى صنع المستحلبات الحساسة للضوء ، وينتج معلقاً متجانساً من بلورات هاليد الفضة الصغيرة جداً . وتسمى المركبات التى تكون محاليل لزجة — كما يفعل الجيلاتين — بالغرويات Collids ومن أمثلتها المواد الهلامية القوام (الجيلى) ، أو المواد الصلبة غير المتبلورة (مثل الزجاج) . ومن الغرويات الأخرى المعروفة جيداً اللزاق (الغراء) ، والزلال والكولوديون . ولقد ثبت أن الجيلاتين هو أكثر المواد الغروية كفاءة بالنسبة للمستحلبات الفوتوغرافية ، وذلك لتمتعه بمجموعة نادرة من الصفات الكيميائية والطبيعية . وفيما يلى أهم هذه الصفات :

١ — الجيلاتين مادة غروية تستطيع الاحتفاظ بجزئيات هاليد الفضة منتشرة فيها بطريقة سوية . وتلك صفة هامة بالنسبة للفيلم الفوتوغرافى أو الورق بعد انتهائه .

٢ — الجيلاتين الجاف مادة تستطيع أن تبقى ثابتة بدون تحلل لفترات زمنية طويلة ، وكنتيجة لهذا فانها تسمح بالحصول على منتجات قادرة على البقاء بالقدر المعقول قبل التشغيل أو بعده .

٣ — ليس للجيلاتين تأثير كيميائى على هاليدات الفضة فى المستحلب بعد فرشه على الدعامات (إذ إن تأثيره عليها قاصر على مرحلة التصنيع فقط)

٤ — الجيلاتين مادة منفذة بالقدر الذى يسمح لمحاليل التشغيل المختلفة بتخلل بناء المستحلب الفوتوغرافى بدون أن تهدم تماسكه أو دوامه .

٥ — يمكن تداول الجيلاتين بسهولة وبطريقة خصبة تمكن من إعادة الحصول عليه .

لقد قررنا أن الجيلاتين مادة عضوية معقدة جداً تحتوى على الكربون والأيدروجين والنيتروجين والكبريت . وعند تحليل الجيلاتين فى المعمل الكيميائى تحت ظروف خاصة معينة فانه سوف ينقسم إلى وحدات أصغر يمكن تعريفها بدقة

وهى الأحماض الأمينية Amino Acids المعروفة جيداً . وتحتوى الأحماض الأمينية على عناصرها مرتبة فى مجموعتين متميزتين فى كل جزئ من جزيئاتها .وكمثال على ذلك نأخذ الجلسرين — وهو أبسط الأحماض الأمينية — ويمكن كتابته بالرموز الكيميائية كما يلى :

ن يد٢ — ك يد٢ — ك ا ا يد
(١) (٢)

و تتواجد المجموعتان المشار إليهما بالرقمين (١) ، (٢) فى جميع الأحماض الأمينية . وبذلك فهى تتواجد بصورة متكررة فى جزىء الجيلاتين المعقد . وتعرف المجموعة (ن يد٢) (NH_2) باسم المجموعة الأمينية Amino Group . أما مجموعة (ك ا ا يد) (COOH) فتعرف باسم مجموعة الكاربوكسيل Carboxyl Group . وسوف نولى هذه المجموعات اهتماماً خاصاً فيما بعد .

تصنيع المستحلبات :

من الجدير بالأهمية أن نلم بقدر من المعلومات عن الخطوات المتبعة فى تصنيع المستحلبات الفوتوغرافية . وتعبر المعادلة التالية عن التفاعل الكيميائى الأساسى فى هذه العملية .

ف ن ا٣ + بوكل = ف كل + بو ن ا٣

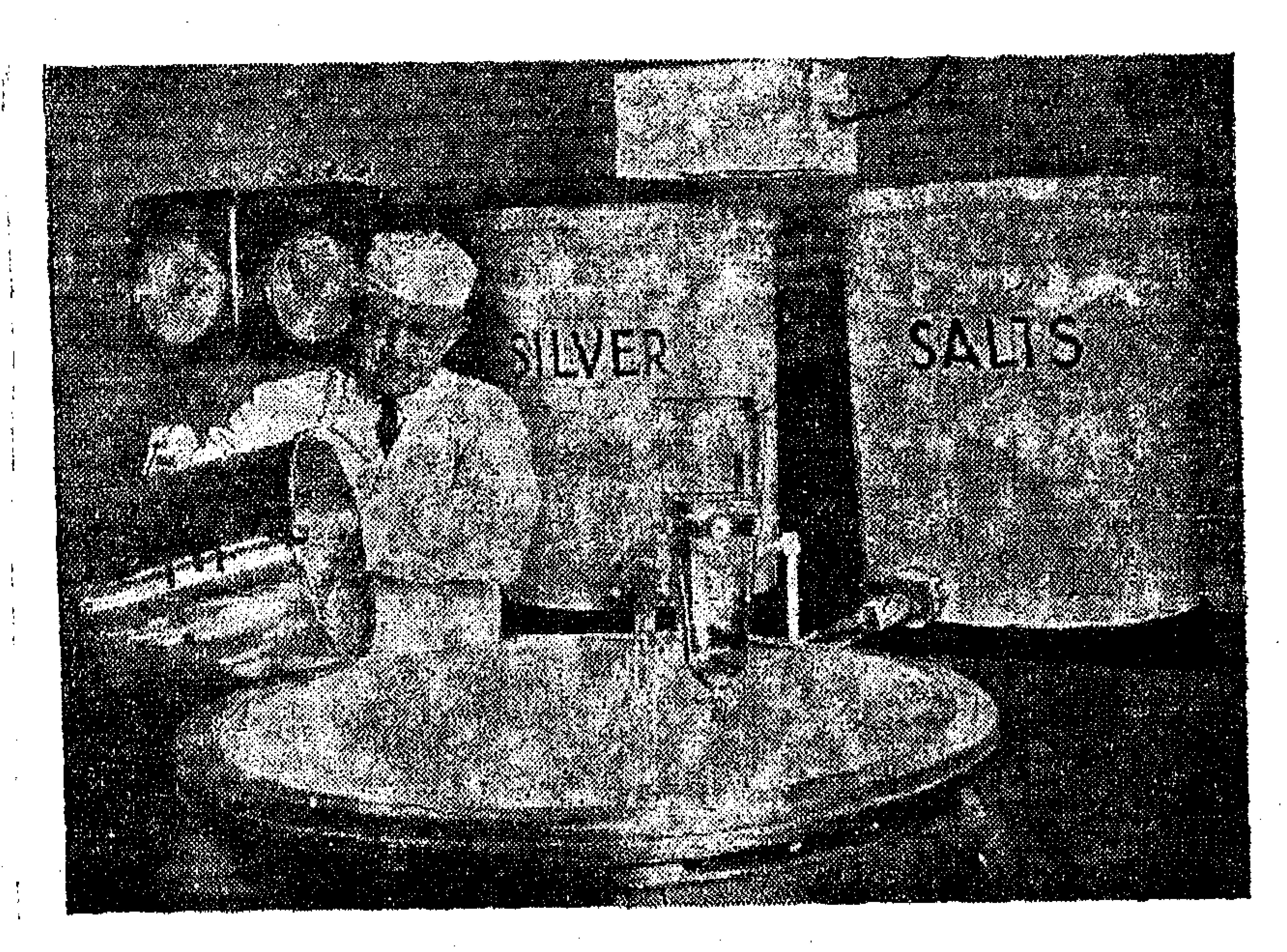
وعند عمل مستحلب بسيط يضاف محلول من نترات الفضة قوته ١٠ ./. ببطء مع التقليب الشديد ، إلى محلول ثان يحتوى على الجيلاتين وكلوريد البوتاسيوم . فتتكون تدريجياً بلورات دقيقة الحجم للغاية من كلوريد الفضة .

وتجرى هذه العملية عادة فى ضوء أحمر معتم . وبعد ذلك يسمح للمستحلب — أى معلق هاليد الفضة فى الجيلاتين — بالمرور بمرحلة اطراد النمو Ripening لمساعدته على اكتساب حساسية أكبر للضوء . ويتم ذلك بتسخين المستحلب الفوتوغرافى إلى درجة معينة — حوالى ٩٠ درجة فهرنهيت عادة — مع المحافظة عليه عند هذه الدرجة لعدة ساعات أحياناً . ويؤدى ذلك إلى حدوث بعض التغير فى حجم بلورات هاليد الفضة بالرغم من أن البلورات التى تتكون أولا تكون دقيقة جداً . فى أثناء عملية اضطراد النمو تذوب البلورات الصغيرة

فى المحلول ، ثم تترسب ثانية على بعض البلورات الكبيرة مكسبة إياها زيادة فى الحجم ،مما يؤدى إلى الحصول على بلورات أكبر حجماً . ومن المحتمل أن يصبح حجم البلورات أكثر تماثلا واتساقاً .

ولكن الأهم من ذلك هو حقيقة أن حساسية البلورات للضوء تزداد بدرجة عظيمة لأن التفاعل بأكمله قد تم فى وجود الجيلاتين . وعادة يضاف مزيد من الجيلاتين «بالكاد» قبل وصول عملية اطراد النمو إلى نهايتها . ويمكن أن يكون لطبيعة هذا الجيلاتين تأثير محدود جداً على الحساسية النهائية لهاليدات الفضة . وبعد انتهاء عملية اطراد النمو يبرد المحلول بأكمله حتى يتحول إلى مادة جامدة هلامية القوام (جل) .

وبعد ذلك ينسل المستحلب الهلامى « جل » إلى شرائط رفيعة على شكل عيدان المكرونة الأسباجتى ومن الممكن أن تغسل هذه العيدان لتخليص المستحلب من المواد الكيميائية غير المرغوب فيها ،مثل أى قدر فائض من أملاح البوتاسيوم .



الشكل رقم (٨)

تعتبر عملية مزج محاليل الجيلاتين ونترات الفضة مع أحد الهاليدات القابلة للذوبان : من الخطوات الأولى فى عملية تصنيع المستحلبات الفوتوغرافية .

ويمكن تخزين المستحلب الهلامى القوام « جل » فى الظلام عند درجة حرارة منخفضة لحفظه ، حتى تنشأ الحاجة إليه لاستخدامه فى صنع الأفلام .

وبعد ذلك تصهر هذه العيدان ثانية مع المحافظة عليها عند درجة حرارة عالية لبعض الوقت مما يؤدى إلى حدوث كسب سريع فى السرعة الفوتوغرافية والتباين. وهذه هى عملية اطراد النمو الثانية ؛ أو عملية الهضم الثانية . ويتم التحكم فى التغير الذى يحدث عند هذه المرحلة باضافة نوع خاص من الجيلاتين عند نهاية عملية الهضم أو عملية اطراد النمو الأولى . وبعد أن يطرد نمو البلورات بالقدر الكافى ، تضاف إلى المستحلب مواد أخرى تحتوى على العوامل المكسبة للصلابة ، ومكسبات الحساسية .... الخ .

والعوامل المكسبة للصلابة عبارة عن مركبات كيميائية تضاف إلى المستحلب لجعل الجيلاتين متماسكاً وأكثر قدرة على مقاومة الإنتفاخ والتلين فى مراحل تداوله التالية ،وفى أثناء عمليات التشغيل فيما بعد . أما مكسبات الحساسية فهى مواد كيميائية عضوية خاصة تضاف إلى المستحلب لزيادة حساسية هاليدات الفضة لألوان معينة من الضوء . وكيمياء هذه المركبات على درجة من التعقيد الشديد لا تسمح بمناقشتها فى هذا الكتاب ، ولكننا سنصف تأثيرها على المستحلب الفوتوغرافى فيما بعد .

الأنواع العامة للمستحلبات :

تبين المعادلة التى تمثل عملية تكون هاليدات الفضة الحساسة للضوء ، أن عدد ذرات العنصر الواحد الموجودة عند أحد طرفى المعادلة تساوى عدد ذرات نفس العنصر عند الطرف الآخر من المعادلة :

ف ن أ٣ + بو كل = ف كل + بو ن أ٣

وعند استعمال الكميات المتكافئة بالضبط من نترات الفضة وكلوريد البوتاسيوم اللازمة لإتمام التفاعل طبقاً للمعادلة السابقة لن يكون المستحلب الناتج صالحاً تماماً للأغراض العملية . فمن الضرورى فى أثناء التصنيع أن تستعمل كمية فائضة من واحد أو آخر من المواد الكيميائية .

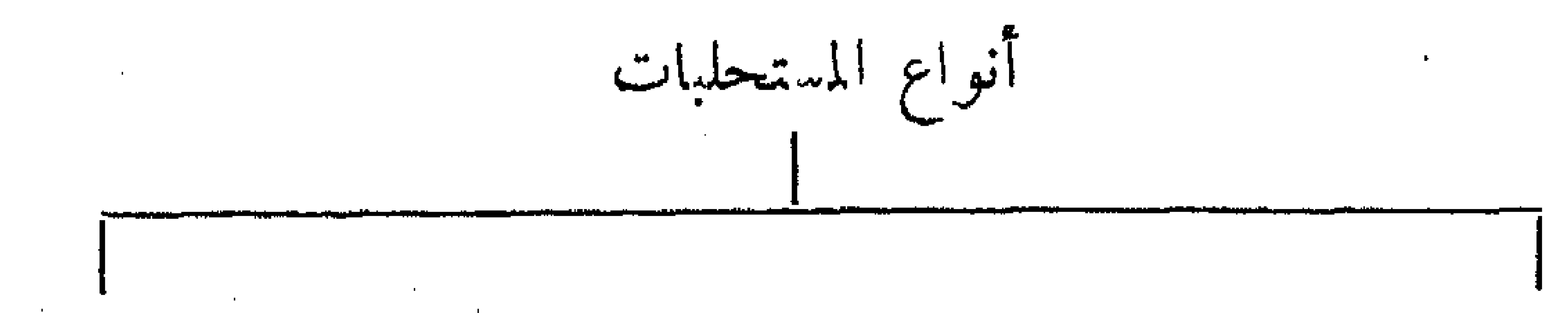
ويختلف المستحلب الناتج فى كل مرة عن الآخر تماماً . ويتوقف مقدار هذا الاختلاف على المادة الكيميائية التى استخدمت بكمية زائدة ، أى التى تمت الإضافة منهـــا .

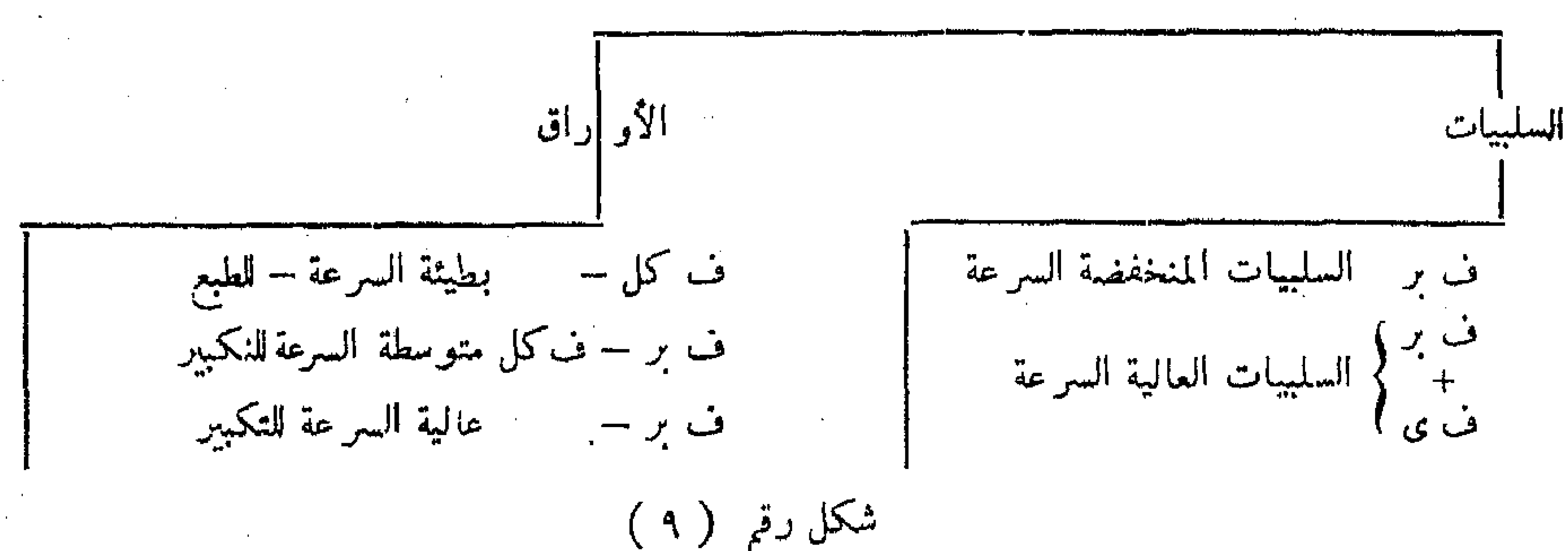
فاذا كانت كمية نترات الفضة التى استعملت أكبر من تلك اللازمة للتفاعل مع الكمية الموجودة من بروميد البوتاسيوم ، فان المستحلب الناتج هو ذلك الذى لايحتاج إلى معالجة فى المحلول المظهر للحصول على الصور عليـــه ، ويسمى Printing-out Emulsion . ويتم تعريض هـــذا النوع من المستحلبات عادة إلى مصدر ضوئى ذى قوة إضاءة عالية ، ولفترة زمنية تكفى لطبع الصور وظهورها عليه . وليست هناك حاجة إلى عمليات التشغيل عند استخدام هذا النوع من المستحلبات . ومن نماذج هذا النوع تلك التجارب (البروفات) التى يجريها المصورون المحترفون للصورة الشخصية ، فيطبعونها على شرائح من الورق المغطى بهذا المستحلب ، ليحصلوا على صورة مكسوة بلون أحمر غامق ولا تبقى كثيراً ، إذ سرعان ما تنطمس .

أما إذا كانت كمية كلوريد البوتاسيوم المستخدمة أكبر من تلك اللازمة للتفاعل مع كل نترات الفضة ، فاننا نحصل على المستحلب الذى يحتاج إلى الإظهار بعـــد التعريض للحصول على الصور عليه ، ويسمى Developing out Emulsion ، وهو النوع العادى من المستحلبات التى يتم تعريضها فى آلات التصوير والتكبير والطبع . وهو يحتاج إلى تعريض قصير نسبياً تتبعه عملية إظهار كيميائى .

ويستخدم النوع الثانى من المستحلبات فى إعداد كل من الأفلام والمواد الفوتوغرافية السلبية (النيجاتيف) والإيجابية (البوزتيف) . وبصفة عامة تغسل المستحلبات السلبية وهى ما زالت على شكل عيدان المكرونة لإزالة المواد الكيمائية الفائضة . فى حين لاتغسل المستحلبات الموجبة عند هذه المرحلة غالباً .

ومن البديهى أن هناك فوارق ملحوظة بين الأنواع المختلفة من المستحلبات التى تحتاج إلى معالجتها فى محلول الإظهار بعد التعريض حتى تنتج الصور عليها . وتتوقف هذه الفوارق على نوع هاليد الفضة ، أو هاليدات الفضة المستخدمة بالذات . ويمكن تقسيم المواد الفوتوغرافية بصفة عامة بناء على حساسيتها (أو استجابتها) النسبية للضوء إلى الأنواع الآتية :





شكل رقم (٩)

تقسيم عام للمواد الفوتوغرافية بناء على استجابتها للضوء

وتزداد حساسية الهاليدات للضوء تبعاً للترتيب التالى :

الكلوريد ، فالبروميد ثم الأيوديد ، لدرجة أن مستحلب بروميد الفضة (أى المستحلب المصنوع من بروميد الفضة) يكون أكثر استجابة للضوء من المستحلب المصنوع من كلوريد الفضة . وبالتالى فان أغلب المستحلبات السالبة تصنع من بروميد الفضة بمفرده أو مع نسبة مثوية ضئيلة من أيوديد الفضة . ويتكون المستحلب المستخدم فى صنع أوراق الطبع (أو الأفلام الموجبة) إما من كلوريد الفضة ، أو من برميد الفضة ، أو من مخلوط منهما معاً .

الدعامات التى تفرش عليها المستحلبات الفوتوغرافية :

يعتبر الزجاج والدعامة الفيلمية (قاع الفيلم) والورق أكثر أنواع الدعامات شيوعاً فى الاستعمال . وتعد بعض المنتجات الخاصة بفرش المستحلبات على قماش الرسم (أى قماش شف الرسوم) ، أو المعادن أو الخشب المضغوط . . . . الخ . ولكنه نظراً لأن هذه المنتجات تستخدم فى بعض نواحى التطبيق الفوتوغرافى الشديدة التخصص ، فاننا لن نناقشها فى هذا الكتاب .

الزجاج المستخدم كدعامة للألواح الفوتوغرافية :

لقد تم استعمال الزجاج كدعامة لمستحلبات هاليدات الفضة الحساسة للضوء للمرة الأولى فى عملية صناعة الألواح المبتلة التى ابتكرها سكوت أرشر فى ١٨٥١ ؛

واستعمل أيضاً كدعامة لمستحلبات الجيلاتين البدائية التى ابتكرها الدكتور مادوكس سنة ١٨٧٠ .

ويستعمل زجاج النوافذ المنتقى بعناية فى الإنتاج المنتظم للألواح الفوتوغرافية. ويتم اختياره بناء على مدى تسطحه Flatness وخلوه من التصدع أو الخدوش التى قد تضعف من النفاذ السوى للضوء خلاله .

الدعامة الفيلمية (أو قاع الفيلم) :

بالرغم من أن الألواح الزجاجية ما زالت تستعمل حتى اليوم بكميات كبيرة فى بعض التطبيقات الفوتوغرافية ، فانها قد استبدلت فى نواحى الاستعمال العام بالأوراق ، والدعامات الفيلمية المرنة . ويعتبر نشوء الدعامة المرنة وتطورها جزءاً هاماً من أجزاء نظام آلة التصوير البسيطة الشبيهة بالصندوق التى ابتكرها جورج ايستمان وطرحها فى الأسواق . وفى أول آلة تصوير – أنتجتها شركة كوداك وسمتها باسمها – وكانت على شكل الصندوق ، كانت لفة المادة الحساسة الضوء عبارة عن مستحلب فوتوغرافى مفروش على الورق . وفى عام١٨٨٩ أتيحت للمرة الأولى دعامة فيلمية شفافة مغطاة بالمستحلب الفوتوغرافى .

وتصنع الدعامة الفيلمية من السليلوز المستخرج من لب الخشب وحطب القطن بعد معالجتهما بالمركبات الكيميائية المناسبة . وكانت أول دعامة فيلمية من هذا النوع تتركب أساساً من نترات السليلوز . ولكن هذه المادة لسوء الحظ سريعة الإشتعال للغاية . ويشكل استعمالها احتمالا خطيراً للتعرض لمتاعب الحريق إذا لم تتخذ احتياطات خاصة فى تداولها وتخزينها . وتم فى سنة ١٩٢١ ابتكار نوع جديد من الدعامات الفيلمية أطلق عليه اسم دعامات الأمان لأنه لا يشكل مصدراً لأخطار الحريق أو الإنفجار . وهو يستخدم فى الوقت الحالى فى تصنيع جميع مواد الأفلام الفوتوغرافية العملية .

الدعامة الورقية :

لقد تم التحقق منذ وقت مبكر خلال تطور التصوير الفوتوغرافى الحديث من أنه لا بد أن يتم تصنيع الدعامات الورقية المستخدمة فى إعداد أوراق الطبع الفوتوغرافية ، بطريقة تجعل الورقة قادرة على البقاء أو الدوام ، مثل الصورة التى تتكون على سطحها .

ولقد ثبت منذ زمن طويل ، وكذلك فى بعض التطبيقات فى هذه الأيام ، أن الورق المصنوع من الخيش (أو الكهنة) هو الأكثر قدرة على البقاء . وعلى كل فلقد بدأ مصنعو المواد الفوتوغرافية فى اتباع برنامج بحث طويل المدى لإنتاج نوع من الورق المصنوع من لب الخشب له مثل قدرة ذلك النوع المصنوع من الكهنة على البقاء ، إن لم تفقها . ولقد طورت شركة ايستمان كوداك بالتعاون مع منتجى لب الخشب تكنيكا (فنية صناعية) لعمل اللب ، يفى بالمواصفات الخاصة بالدعامات الورقية الدائمة للمواد الفوتوغرافية . ونستطيع أن نقرر عملياً أن جميع الأوراق الفوتوغرافية الخام التى يتم تصنيعها اليوم ، مستخرجة من لب الخشب .



شكل رقم (١٠)
فرش المستحلب على الدعامة الفيلمية . ويجب مراعاة المحافظة على أماكن العمل نظيفة للغاية بحيث لا يصل الغبار أو أى مادة غريبة إلى المستحلب .

شكل رقم (١١)
إحدى الحجرات المكيفة الهواء التى يتم فيها لف الفيلم على البكر بشركة ايستمان كوداك . وقد أخذت هذه الصورة فى الظلام بواسطة الأشعة تحت الحمراء غير المرئية .



الباب الرابع

استجابة المستحلب الفوتوغرافى للضوء

يقوم إعداد الصورة على حقيقة أن مركبات الفضة حساسة للضوء . ولكن ما هو الضوء ، وكيف يؤثر على المستحلب الفوتوغرافى ؟ .

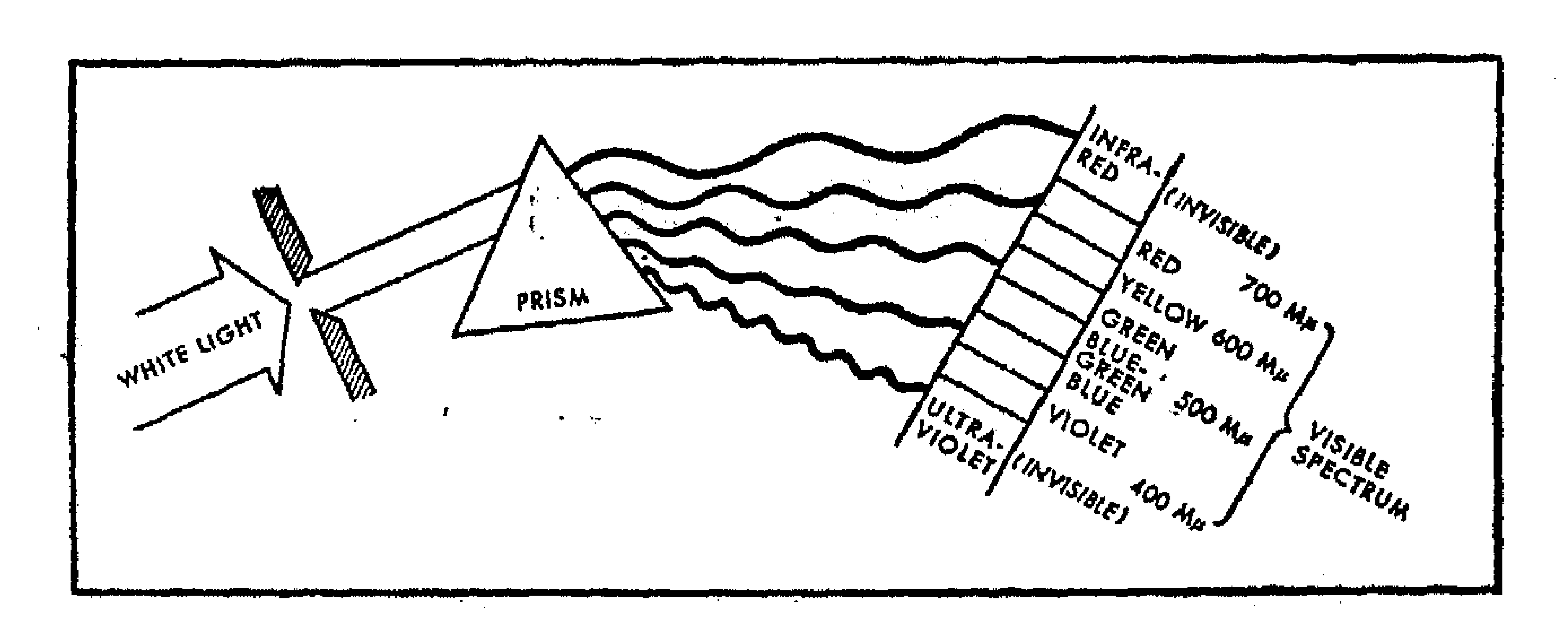
عندما تستقبل المواد الفوتوغرافية (الألواح أو الأفلام أو الورق) تعريضاً ضوئياً فى آلات التصوير ، أو فى آلات التكبير ، أو فى آلات الطبع ، تتأثر هاليدات الفضة الموجودة فى المستحلب الفوتوغرافى بالضوء المستخدم فى التعريض مكونة صورة كامنة غير مرئية . ومن الضرورى أن نتعرف على طبيعة الضوء نفسه باختصار ، حتى يصبح فى إمكاننا أن نصف ما يحدث فى أثناء تعريض هاليدات الفضة .

طبيعة الضوء :

تبين الدلائل المتاحة بين أيدينا أن الضوء يتألف من موجات تسير بسرعة قدرها مائة وستة وثمانون ألف ميل فى الثانية الواحدة . ويمكن توضيح أحد أشكال انتقال الطاقة فى حركة موجبة بالمثال البسيط التالى : إذا ربطنا أحد طرفى حبل طويل فى عمود ثم قمنا بتحريك طرف الحبل الآخر الممسوك فى يدنا إلى أعلى وإلى أسفل ، فاننا نلاحظ سريان حركة موجية عبر الحبل . وتسمى المسافة بين قمة موجبة ، وقمة الموجة التى تليها بطول الموجة .

والواقع أن الضوء الأبيض يتركب من خليط من موجات مختلفة الأطوال . وعندما يمر الضوء من الهواء إلى الزجاج ، فان الأشعة الضوئية تنثنى أى تنكسر . وقد وجد أن كمية الانثناء تتوقف على طول موجة الضوء . وعندما تمر حزمة ضوئية

خلال منشور زجاجى ، يشكل الضوء الخارج من المنشور بعد انكساره باقة من الألوان تعرف باسم الحزمة الطيفية Spectrum .



شكل رقم (١٢)
أطوال الموجات النسبية للأشعة الضوئية الزرقاء والخضراء والحمراء

وتتنوع الألوان من الأزرق إلى الأزرق المخضر إلى الأخضر إلى الأصفر إلى البرتقالى ثم الأحمر . وتبرهن تجربة المنشور على أن الضوء الأبيض ما هو إلا مخلوط من أضواء ذات آلوان مختلفة لكل منها طول موجته المميزة له، وذلك لأن كمية انثناء الأشعة تختلف فى كل حالة . ومن ثم فان اللون الناتج عن الانكسار يعتمد على طول موجة الضوء الذى سمح له بالانكسار . ويبين الشكل (١٢) أطوال الموجات النسبية للأشعة الضوئية الزرقاء والخضراء والحمراء .

ومن الممكن قياس أطوال موجات الضوء بدقة. وهى عادة تصاغ إما بوحدات المليميكرون أو بوحدات الأنجسروم . والرمز المختصر المليميكرون هو mu . والمليميكرون الواحد يساوى جزءاً واحداً على المليون من المليمتر الواحد . فى حين يساوى الأنجشتروم الواحد عشر المللميكرون ، أى يساوى واحدا على عشرة مليون من المللميتر . ويمكن تمثيل الحزمة الطيفية بلوحة تبين عليها أطوال موجات الألوان المختلفة للأشعة الضوئية مقدرة بالمليميكرونات فى أغلب الأحيان . وتسمى حزمة الألوان هذه، بالحزمة الطيفية المرئية حيث إن العين البشرية تستطيع رؤية هذه الألوان .

وليست الحزمة الطيفية المرئية التى تشتمل على أطوال الموجات ذات المدى المنحصر فيما بين ٤٠٠ إلى ٧٠٠ ملليمكرون تقريباً إلا جزءا بسيطا من حزمة أطول منها

بكثير تسمى بالحزمة الأليكترومغناطيسية ، شكل رقم (١٣) . ولبعض الإشعاعات ، مثل الأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس وأشعة الجاما ، أطوال موجات أقصر من ربعمائة ملليميكرون . فى حين أن الأشعة تحت الحمراء وأشعة الراديوم لها أطوال موجات أكبر من سبعمائة ملليمكرون . وبالرغم من أن هذه الإشعاعات غير مرئية ، فان المستحلبات الفوتوغرافية تستجيب لبعض منها . إذ إن جميع المستحلبات الفوتوغرافية حساسة للأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس وأشعة جاما . وهناك مستحلبات خاصة معينة تستجيب لأقصر مدى من أطوال موجات الأشعة فوق البنفسجية .

ومن الملائم للكثير من التطبيقات المتعلقة بالضوء ، وفى التصوير الفوتوغرافى بالذات ، أن نجزئ الحزمة الطيفية المرئية Visible Spectrum إلى ثلاث مناطق هى منطقة الضوء الأزرق ومنطقة الضوء الأخضر ومنطقة الضوء الأحمر . ويمكن توضيح إمكانية فصل هذه المناطق الثلاث بسهولة، بوضع قطع زجاجية بالألوان المناسبة أمام العدسة الموجودة فى جهاز العرض . فعندما نضع قطعة الزجاج ذات اللون الأحمر ، سيكون الضوء الناتج على الشاشة البيضاء ذا لون أحمر . وذلك لأن الزجاج الأحمر ينفذ الضوء الأحمر ، ويمتص الضوء الأزرق والضوء الأخضر .

وعلى نفس المنوال يبدو الجسم الأحمر بهذا اللون لأنه يمتص الأشعة الزرقاء والخضراء ، ولا ينفذ إلا الأشعة الحمراء فقط .

WAVE LENGTHS IN MILLIMICRONS
10^{-6} 10^{-4} 10^{-2} 1 10^{2} 10^{4} 10^{6} 10^{8} 10^{10} 10^{12} 10^{14} 10^{16}
COSMIC RAYS
GAMMA RAYS
X-RAYS
ULTRA-VIOLET RAYS
INFRA-RED RAYS
HERTZIAN WAVES
RADIO WAVES
LONG ELECTRICAL OSCILLATIONS
VISIBLE SPECTRUM
400 Mμ
700 Mμ

شكل رقم (١٣)

الحزمة الاليكترومغناطيسية

استقبال هاليدات الفضة
الموجودة فى المستحلب الفوتوغرافى للضوء

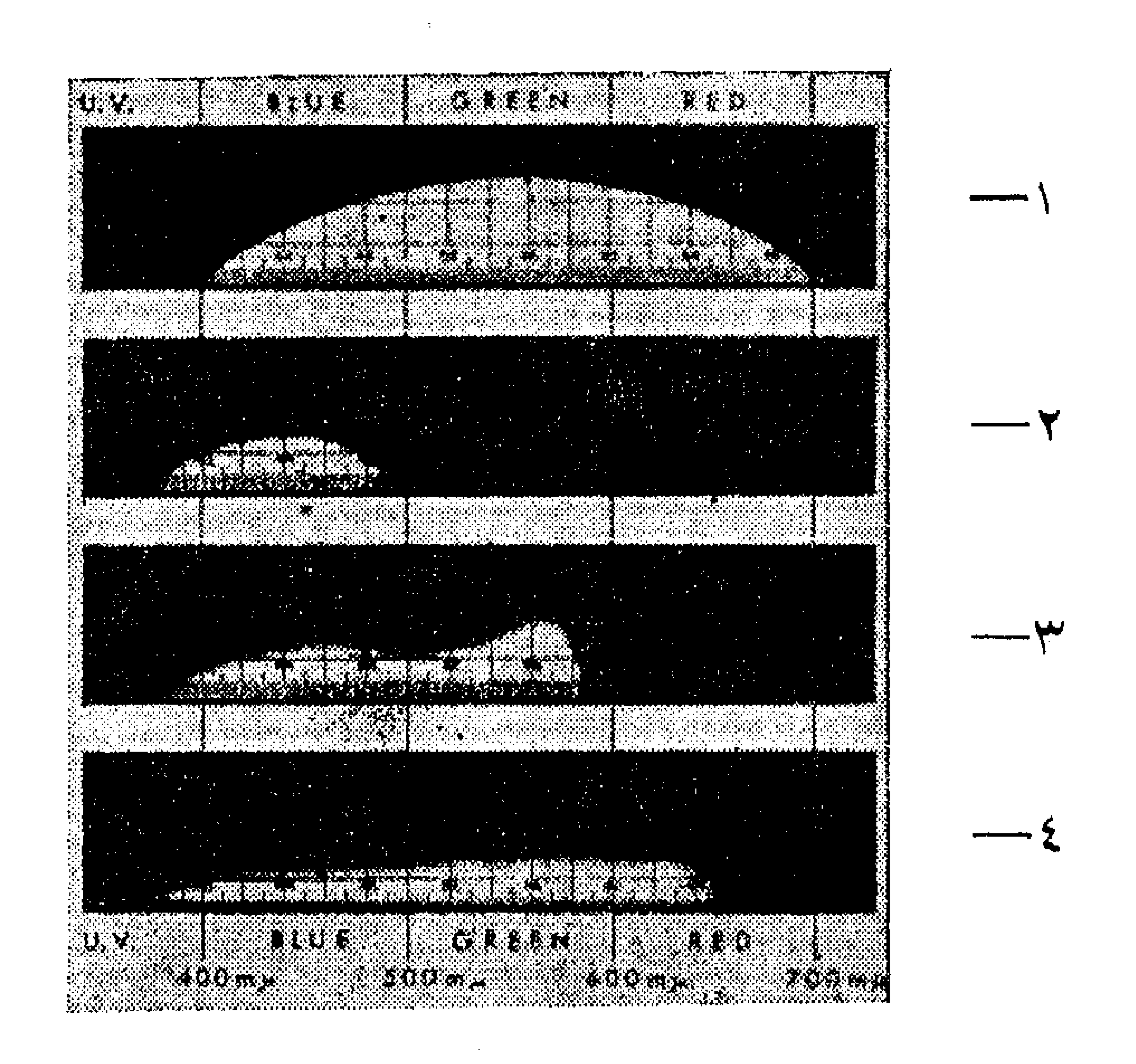
إن هاليدات الفضة الموجودة فى المستحلب الفوتوغرافى تسلك تجاه الضوء بطريقة تشبه بعض الشىء تلك التى تسلك بها الأجسام الملونة تجاهه . ويعنى هذا أن لهاليدات الفضة – بصفة نوعية – مقدرة على امتصاص أطوال موجات معينة فقط من الضوء . وعند ما يحدث هذا فان الضوء الذى يتم امتصاصه يحدث تفاعلات كيميائية تؤدى إلى نشوء الصورة الكامنة ، التى تتحول بدورها إلى صورة مرئية بواسطة محلول الاظهار .

وامتصاص هاليدات الفضة للضوء مقصور على جزء فقط من الحزمة الطيفية المرئية . فكلوريد الفضة مثلا ، يمتص الإشعاعات التى تقع أطوال موجاتها فى المنطقة المحصورة بين الأشعة الزرقاء ، والأشعة التى يصل طول موجتها إلى ٥٠٠ مليميكرون بالحزمة الطيفية . بينما تمتد مناطق امتصاص بروميد الفضة وأيوديدها حتى حوالى ٥٢٥ ، ٥٥٠ ملليميكرون على الترتيب . وإذا احتوت المستحلبات التجارية على هاليدات الفضة النقية فقط ، فان المواد الفوتوغرافية سوف لا تسجل إلا الضوء الأزرق المنعكس من الجسم المطلوب تصويره . وتوصف هذه المستحلبات بأنها حساسة للضوء الأزرق .

والحقيقة أن أغلب الموضوعات المصورة تعكس مجموعة متنوعة من الألوان . ومن المرغوب فيه تمثيل هذه الألوان كدرجات من اللون الرمادى – بالتألق المناسب – فى الصور الفوتوغرافية الأبيض والأسود. ولقد ثبت بالتجربة أنه لا بد من إضافة مركبات عضوية معينة إلى المستحلبات الفوتوغرافية فى أثناء التصنيع لإكسابها قدرة على الاستجابة للمزيد من أطوال موجات الضوء . وبعبارة أخرى لتوسيع مدى استجابة المستحلبات الفوتوغرافية فى المناطق الخضراء والحمراء من الحزمة الطيفية المرئية . ولقد أدت هذه التحسينات فى صناعة المستحلبات إلى ظهور فصيلتين عامتين من المواد الفوتوغرافية هما الأورثوكروماتيك والبانكروماتيك . وتسمى المواد الكيميائية العضوية المستخدمة باسم مكسبات الحساسية . وتسمى تلك الزيادة فى حساسية المستحلبات بالنسبة لأجزاء إضافية من الحزمة المرئية باكساب الحساسية البصرية **Optical Sensitising** .

وهناك مجاميع عديدة من مكسبات الحساسية تجعل المستحلبات حساسة لأطوال موجات الضوء الواقعة فى المنطقة الخضراء من الحزمة الطيفية . وجميع المواد الفوتوغرافية العادية حساسة للضوء الأزرق بفضل احتوائها على هاليدات الفضة .

وتحتم متمتضيات التصوير الفوتوغرافى بالألوان توافر مستحلبات حساسة لجميع أطوال موجات الحزمة المرئية ، حتى يمكن تسجيل جميع الألوان الموجودة فى الموضوع خلال مرشحات زرقاء وخضراء وحمراء .



شكل رقم (١٤)

أجنحة مطياف تبين الحساسية اللونية لأنواع الأفلام الحساسة المختلفة بالنسبة لضوء التنجستن

١ — حساسية العين — الحساسية التقريبية للعين العادية .

٢ — الفيلم العادى (أى الذى لم يعالج لإكسابه أى حساسية لونية) .
وهو حساس فقط للأشعة فوق البنفسجية والزرقاء والبنفسجية .
وهى الحساسية الملازمة لجميع مستحلبات هاليدات الفضة .

٣ — الأورثوكرماتيك — حساس للأشعة فوق البنفسجية والزرقاء والخضراء .

٤ — البانكروماتيك — ذو حساسية قريبة جداً من حساسية العين .

ولا تنتج مكسبات الحساسية التي تستعمل لجعل المستحلبات من النـــوع الأورثوكروماتيك مثلا ، نفس الحساسية للضوء . ويمكن تقدير التأثيرات النسبية لمكسبات الحساسية المختلفة بالتجربة . وتصاغ النتائج أما في شكل منحنيات الحساسية الطيفية أو أجنحة المطياف . Wedge Spectrograms . وتشير هذه النتائج إلى أطوال الموجات التي يصبح المستحلب عندها على أقصى درجة من الحساسية . كما تبين أيضا أنه ليس هناك هبوط محدد في مدى استجابة المستحلب لضوئين أولهما ذو طول موجه معين ، والثاني ذو طول الموجه الأقصر ، أو الأطول منه مباشرة .

وتمدنا أجنحة المطياف بأفضل المعلومات العامة عن استجابة المستحلبات الفوتوغرافية للضوء . وهي تستعمل على الاتساع في الأبحاث الفوتوغرافية مثل النشرات التي تتناول الصفات المميزة للمنتجات الفوتوغرافية .

وهناك مكسبات حساسية عضوية تجعل المستحلبات حساسة لأجزاء من مدى أطول موجات الأشعة تحت الحمراء ، وبعضها يستطيع أن يوسع من مدى حساسية المستحلب حتى تصل إلى حوالي ١٢٥٠ ملليميكرون . والكثير من هذه المستحلبات الحساسة للأشعة تحت الحمراء هام للغاية في المساحة الجوية وفي الفلك وفي التطبيقات التكنيكية والعلمية الأخرى للتصوير الفوتوغرافي .

الباب الخامس

المحاليل والمواد الكيميائية

المستخدمة فى التشغيل الفوتوغرافى

بعد أن يتم تعريض المستحلب الفوتوغرافى للضوء، تتحول الصورة الكامنة إلى صورة مرئية بعملية الإظهار . ويستدعى ذلك استعمال محاليل إظهار خاصة . وسنناقش فيما يلى الصفات الهامة لبعض المواد الكيميائية المستخدمة فى محاليل الإظهار ومحاليل التشغيل الأخرى .

يمكن تحضير محاليل التشغيل من المواد الكيميائية المنفصلة التى يتم تجميعها فى محلول واحد طبقا للتعليمات الواردة فى نشرات تركيبات التحضير التى يصدرها مصنعو الأفلام ، أو باستعمال عبوات المواد الكيميائية التى يتم تحضيرها بواسطة مصنعى الأفلام أنفسهم . ومن الممكن الاعتماد تماما على لفائف محاليل الإظهار والتثبيت ، المجهزة كل فى عبوة مستقلة، حيث يتم خلطها وتعبئتها فى حجوم كبيرة تحت ظروف خاضعة لتحكم ومراقبة بالغى الدقة .

ولقد نالت هذه المنتجات ذات الملكية الخاصة لمصنعى الأفلام ، شعبية كبيرة فى السنوات الحديثة لتماثلها من عبوة إلى الثانية ، وللسهولة التى تتيحها بالنسبة لعمليات المزج مع انخفاض ثمنها نسبيا ، وخصوصا فى الحالات التى يقتضى الأمر فيها تشغيل حجوم كبيرة من المواد الفوتوغرافية بعد تعريضها للضوء . ومن الهام أن نلم بمعرفة المواد الكيميائية المستخدمة بصرف النظر عن كيفية تحضير المحاليل .

ولقد بينا فى الباب الثالث أن عنصرين أو أكثر قد يتحدا مع بعضهما البعض منتجين مركبات كيميائية . ولكل من هذه المركبات صفات مميزة تتوقف بالذات على

العناصر المتحدة فيه مع بعضها البعض . ولكن البعض من هذه العناصر قد يتشابه تماما فى خواصه وتفاعلاته مع بعض العناصر الأخرى الشديدة الانتساب له . وعلى هذا الأساس يمكن تقسيمها إلى فصائل عديدة متسعة .

ويمكن تقسيم العناصر على الاتساع إلى مجموعتين : هما الفلزات ، واللافلزات . وتحتوى المجموعة الأخيرة (اللافلزات) على عدد من العناصر تكون فى الحالة الغازية عند درجة الحرارة والضغط العاديين . ويبين الجدول رقم (١) العناصر الأكثر أهمية فى التصوير الفوتوغرافى .

ولا بد فى كل التفاعلات الكيميائية من استعمال كميات أو أوزان معينة من العناصر والمركبات . ويتألف كل عنصر من ذرات من نفس النوع . ومن الممكن تقدير معدل الوزن النسبي لذرة كل عنصر باتباع طرق دقيقة . ويسمى معدل الوزن الذرى ، وهو يختلف بالنسبة لكل عنصر .

جدول رقم (١)

الفلزات			اللافلزات		
العنصر	الرمز	الوزن الذرى	العنصر	الرمز	الوزن الذرى
الصوديوم	ص	٢٣	الكربون	ك	١٢
البوتاسيوم	بو	٣٩,٢	البورون	ب	١٠,٨
الكالسيوم	كا	٤٠,٠٨	الكبريت	كب	٣٢
الحديد	ح	٥٥,٨٤	اليود	ى	١٢٦,٩
النحاس	نح	٦٣,٥٧	البروم	بر	٧٩,٩
الفضة	ف	١٠٧,٨٨	الغازات		
الذهب	ذ	١٩٧,٢	الهيدروجين	يد	١,٠٠٨
البلاتين	بلا	١٩٥,٢٣	النيتروجين	ن	١٤
الألومنيوم	لو	٢٦,٩٧	الأكسجين	ا	١٦
الزئبق	ــــــ	٢٠٠,٦	الكلور	كل	٣٥,٥

فمثلا الأوزان الذرية للصوديوم والكربون والكلور والفضة هى على الترتيب : ٢٣ــ١٢ ــ ٥٣,٥ ،ــ ١٠٧,٨٨ ممثلة على تدريج يبدأ بالأيدروجين عند ١,٠٠٨ .

ويتكون كلوريد الصوديوم من التفاعل بين الصوديوم والكلور طبقا للمعادلة الآتية :

ص + كل = ص كل

فتتحد كل ذرة من الصوديوم بذرة واحدة من الكلور . وتكون الأوزان الداخلة فى التفاعل من العنصرين بنسبة أوزانهما الذرية وهى ٢٣ للصوديوم ، ٣٥,٥ للكلور . وسوف تتفاعل هذه الأوزان من العنصرين مع بعضها البعض دائما لتكوين كلوريد الصوديوم . أو بعبارة أخرى سوف يظل كلوريد الصوديوم محتويا على هذين العنصرين دائما بنفس النسبة ؛ أى ٢٣ إلى ٣٥,٥ بالضبط. ويمكن قياس هذه الأوزان بالجرامات أو بالأوقيات أو بأى مقياس آخر ما دامت النسبة الصحيحة للكميات محفوظة . وتتكون المركبات المتنوعة المعروفة الأخرى بطريقة مشابهة من اتحاد ذرات العناصر المختلفة بنسبة ثابتة محددة خاصة فى كل حالة . فمثلا الماء ــ ورمزه هو يد٢ ا ــ ينتج دائما عن حدوث ارتباط بسيط بين ذرتين من الأيدروجين ؛ وذرة واحدة من الأكسجين .

وعندما يتفاعل الصوديوم والكلور تنتج جزيئات كلوريد الصوديوم؛ ومجموع أوزان الذرات الداخلة فى التفاعل (وهو ٨٥,٥) هو الوزن الجزئى لكلوريد الصوديوم.

وقد تتحد الذرات بنسب أخرى غير واحد إلى واحد لتكوين المركبات . فمثلا فى حالة الماء ؛ تتحد ذرتان من الأيدروجين مع ذرة واحــدة من الأكسجين دائما ، وتتناسب الكميات المستخدمة من العنصرين مع أوزانهما الذرية . أى أن ٢,٠١٦ وحدة وزنية من الأيدروجين (ضعف الوزن الذرى للأيدروجين) تتحد مع ١٦ وحدة وزنية من الأكسجين . ومن ثم فان الوزن الجزيئى للماء هو ١٨,٠١٦ . وبنفس الطريقة تتفاعل الشقوق Radicals مثل النترات (ن ا ٣) كوحدة واحدة . فعند تكون نترات الصوديوم، تتحد ذرة واحدة من الصوديوم مع شق النترات . والكميات المستخدمة

هى ٢٣ وحدة من الصوديوم (وهى عبارة عن الوزن الذرى للصوديوم) ، ٦٢ وحدة من النترات ، وهى عبارة عن مجموع الأوزان الذرية للعناصر الداخلة فى تركيب شق النترات ، (وهى الوزن الذرى للنيتروجين (أى ١٤) وثلاثة أوزان ذرية للأكسجين (أى ١٦ × ٣ = ٤٨) . وبناء على ذلك فان الوزن الجزيئى لنترات الصوديوم هو ٨٥ .

ولقد ذكرنا أنه من الممكن تحضير مستحلب بسيط طبقا للمعادلة الآتية :

ف ن ا٣ + بو كل = ف كل + بو ن ا٣

ولتحديد كميات نترات الفضة وكلوريد البوتاسيوم اللازمة لإتمام التفاعل الذى تعبر عنه المعادلة ، تحسب الأوزان الجزيئية للمركبات عن طريق الأوزان الذرية للعناصر المستخدمة .

ولقد تم تقدير النسب التى تتحد بها ذرات العناصر المختلفة بتحليل الكثير من المركبات المعروفة تحليلا كيميائيا . وكنتيجة لهذا يمكن أن نشير إلى مدى الفرق بين نشاط عنصر ما ، وعناصر أخرى .

وتسمى هذه الصفة المميزة للعناصر بالتكافؤ .

أنواع المركبات :

الأكاسيد : وهى مركبات تنشأ من اتحاد الأكسجين مع العناصر الأخرى . فمثلا يتحد الكبريت والأكسجين لتكوين ثانى أكسيد الكبريت ، أى أن

كب + ا٢ = كب ا٢

وبطريقة مشابهة ، يستطيع الصوديوم أن يتفاعل مع الأكسجين لتكوين أكسيد الصوديوم أى أن :

٤ ص + ا٢ = ٢ ص٢ ا

والكثير من الأكاسيد الناتجة تذوب فى الماء ، وتعتمد صفات المحلول على نوع العنصر الذى قد اتحد بالأكسجين .

الأحماض : وهى تتكون من إذابة أكاسيد العناصر اللافلزية فى الماء . والمحاليل الحامضية عامة ذات طعم لاذع ، وتغير لون صبغة عباد الشمس إلى الأحمر (وهى

عبارة عن مادة نباتية Vegetable ملونة (أى مكسبه للألوان Colouring) وتوصل الكهرباء وتحتوى على الأيدروجين . فمثلا يذوب ثانى أكسيد الكبريت فى الماء منتجاً حامض الكبريتوز Sulfurous Acid أى أن :

كب ا٢ + يد٢ ا = يد٢ كب ا٣

أو يذوب ثالث أكسيد الكبريت فى الماء منتجا حامض الكبريتك ، أى أن :

كب ا٣ + يد٢ ا = يد٢ كب ا٤

القواعد : وهى تتكون من إذابة أكاسيد العناصر الفلزية فى الماء . والمحاليل القاعدية أو الفلزية عامة ، ذات ملمس صابونى ، وتغير لون عباد الشمس إلى الأزرق وتوصل الكهرباء ، وتحتوى على الأكسجين . وهى قارضة جدا وحتى مخاليطها المخففة قادرة على مهاجمة الغشاء الخلوى للفم . ولذا لاينبغى تذوقها (أو تناولها بالفم) . فمثلا ينتج أيدروكسيد الصوديوم من أكسيد الصوديوم والماء، أى أن :

ص٢ ا + يد٢ ا = ٢ ص أ يد

الأملاح : وهى تتكون عندما تتفاعل الأحماض مع القواعد لإنتاج موادتتميز محاليلها المائية بصفات معينة تختلف كلية عن صفات محاليل الأحماض أو القواعد . وهى فى الحقيقة تشبه فى سلوكها ملح الطعام العادى ، أى كلوريد الصوديوم . فمثلا يتفاعل حامض الكبريتوز مع أيدركسيد الصوديوم مكونا سلفيت الصوديوم والماء . وسلفيت الصوديوم ملح شائع الاستعمال فى محاليل الإظهار والتثبيت الفوتوغرافية . ويتكون طبقا للمعادلة التالية :

يد٢ كب ا٣ + ٢ ص ا يد = ص٢ كب ا ٣ + ٢ يد ٢ ا

وفى هذا المثال حل الصوديوم محل جميع الأيدروجين الموجود فى حامض الكبريتوز . ويسمى هذا التفاعل المميز للأحماض بالتعادل . ومن الممكن أن يتم تحت ظروف مختلفة ، إحلال الفلز (وهو الصوديوم فى هذه الحالة) محل ذرة واحدة من ذرتى أيدروجين الحامض . وحينئذ يتكون ملح يسمى (سلفيت الصوديوم الحامضية) والماء ، طبقا للمعادلة التالية :

يد ٢ كب ا٣ + ص ا يد = ص يد كب ا ٣ + يد ٢ ا

ومن الممكن أن يتم بطريقة مشابهة إحلال الفلزات الأخرى محل أيدروجين الحامض لتكوين أملاح هذه الفلزات .

وكمثال آخر نسوق مركبا ذا أهمية فى التصوير الفوتوغرافى هو الملح الصوديومى لحامض يسمى حامض الثيوكبريتك رمزه هو يد٢ كب٢ ا٣ وثيوكبريتات (ثيوسلفات) الصوديوم ص٢ كب٢ أ٣ هو الاسم الكيميائى الصحيح لما يسمى الهيبو Hypo والذى يستخدم فى تركيب محاليل التثبيت .

وتتكون الأملاح التى تناولتها مناقشتنا حتى الآن من الأحماض الناتجة عن تفاعل الأكاسيد مع الماء . وتستطيع بعض العناصر غير المعدنية ، مثل مجموعة الهالوجينات أن تتحد مباشرة مع الهيدروجين لإنتاج الأحماض القوية . فمثلا تكون عناصر الكلور والبروم واليود ، حامض الأيدوكلوريك (يد كل) ، والأيدوبروميك (يدبر) ، والأيدروايوديك (يدى) . وعندما تتعادل هذه الأحماض بالتفاعل مع أيدروكسيد البوتاسيوم ، تنتج أملاح الهاليد : كلوريد البوتاسيوم (بوكل) ، وبروميد البوتاسيوم (بوبر) وايوديد البوتاسيوم (بوى) على الترتيب . وهذه الأملاح هامة للغاية فى تصنيع المستحلبات ، لأنها هى التى تكون هاليدات الفضة فى المستحلب.

ويحتوى الجدول رقم (٢) على بعض الأحماض والقواعد الأكثر أهمية فى عمليات التشغيل الفوتوغرافى .

جدول رقم (٢)

الأحماض	القواعد	الأملاح
حامض الخليك	أيدروكسيد الصوديوم	سلفيت الصوديوم
حامض الأيدروكلوريدك	كربونات الصوديوم*	كبريتات الصوديوم
حامض الكبريتيك	قلوى كوداك المتعادل*	بروميد البوتاسيوم
	البوركس*	ثيوسلفات الصوديوم
		شب البوتاش
		شب الكروم

* هى فى الحقيقة أملاح ذات تأثير قلوى شديد .

المركبات العضوية :

تقع المواد الكيميائية التى ناقشناها حتى الآن فى الفصيلة المعروفة للكيميائيين باسم المركبات غير العضوية . وتحتوى المواد غير العضوية عامة على العناصر الفلزية . وهى تتفكك عند درجات الحرارة العادية مخلفة بقايا من الرماد . وفى الناحية الأخرى ، توصف المواد العضوية عامة بأنها تحترق وتنتج غالباً بقايا من الكربون ، وذلك لأنها تتكون أساساً من الكربون والأيدروجين والأكسجين والنتروجين ، وأحياناً الفسفور واليود أوعناصر أخرى . وباستثناء الكربون ، فان بقية العناصر المذكورة تتطاير (أى تتحول إلى بخار) عند درجات الحرارة العالية .

والكثير من المركبات العضوية المستخدمة فى التصوير الفوتوغرافى ليست سريعة الذوبان فى الماء إذا استعملت بدون تحوير . فهى تعالج كيميائياً بطريقة تتيح الحصول على أحد المشتقات الأكثر قابلية للذوبان ، ويتم ذلك عادة بتكوين الملح الصوديومى للمركب العضوى . وتسلك هذه الأملاح العضوية فى المحاليل بنفس طريقة الأملاح غير العضوية تقريباً .

المحاليل والاذابة :

يتم الحصول على المحلول بخلط وانتشار المواد الصلبة أو السوائل بكيفية متماثلة سوية خلال سائل آخر . وتسمى المادة التى تتم إذابتها « بالمذاب » والمحلول التى تذوب فيه « بالمذيب » . والمدى الذى سوف يتم ذوبان المذاب إليه يسمى بالإذابة. وعندما يصبح المذيب غير قادر على الاحتفاظ بمزيد من المذاب يقال عنه إنه قد تشبع . وهناك أنواع مختلفة من المحاليل ، تنقسم إلى فصائل تبعاً لدرجة ذوبان المذاب . والمحلول الحقيقى هو الذى لايترسب المذاب فيه ، بل يبدو متجانساً للعين .

وفى المحلول الحقيقى مثل محلول ملح الطعام ، تتجزأ المادة المذابة إلى جزيئات منفصلة ، أو فى الغالب إلى مجاميع من جزئيات قليلة . وإذا كان المخلوط أقل تماسكاً وأمكن رؤية جزئيات دقيقة فيه بالمكروسكوب ، فان المخلوط الناتج يسمى بالمعاق. والمستحلب الفوتوغرافى مخلوط من جزئيات صغيرة جداً من هاليدات الفضة فى محلول الجيلاتين . وهو فى الحقيقة معلقاً وليس مستحلباً . وهناك نوع ثالث من المحاليل يسمى بالمحلول الغروى ، وهو وسط بين المحلول الحقيقى والمعاق . ولاتترسب

المواد الغروية من المحاليل كما تفعل المواد العالقة ، أوعلى الأقل ليس بهذه السرعة تقريباً . فقد أخفقت بعض المحاليل الغروية المائية فى ترسيب المواد المذابة فيها بعد سنين عديدة . والجيلاتين مادة غروية ، ذات محلول غروى فى الماء ، وهو بفضل هذه الصفة يحتفظ بهاليدات الفضة متماثلة التوزيع فى المستحلب الفوتوغرافى ، ويمنعها من الانفصال عنه . وحيث إن الجيلاتين يمنع هاليدات الفضة من الاستقرار خارج المحلول ، فانه يسمى مادة غروية واقية .

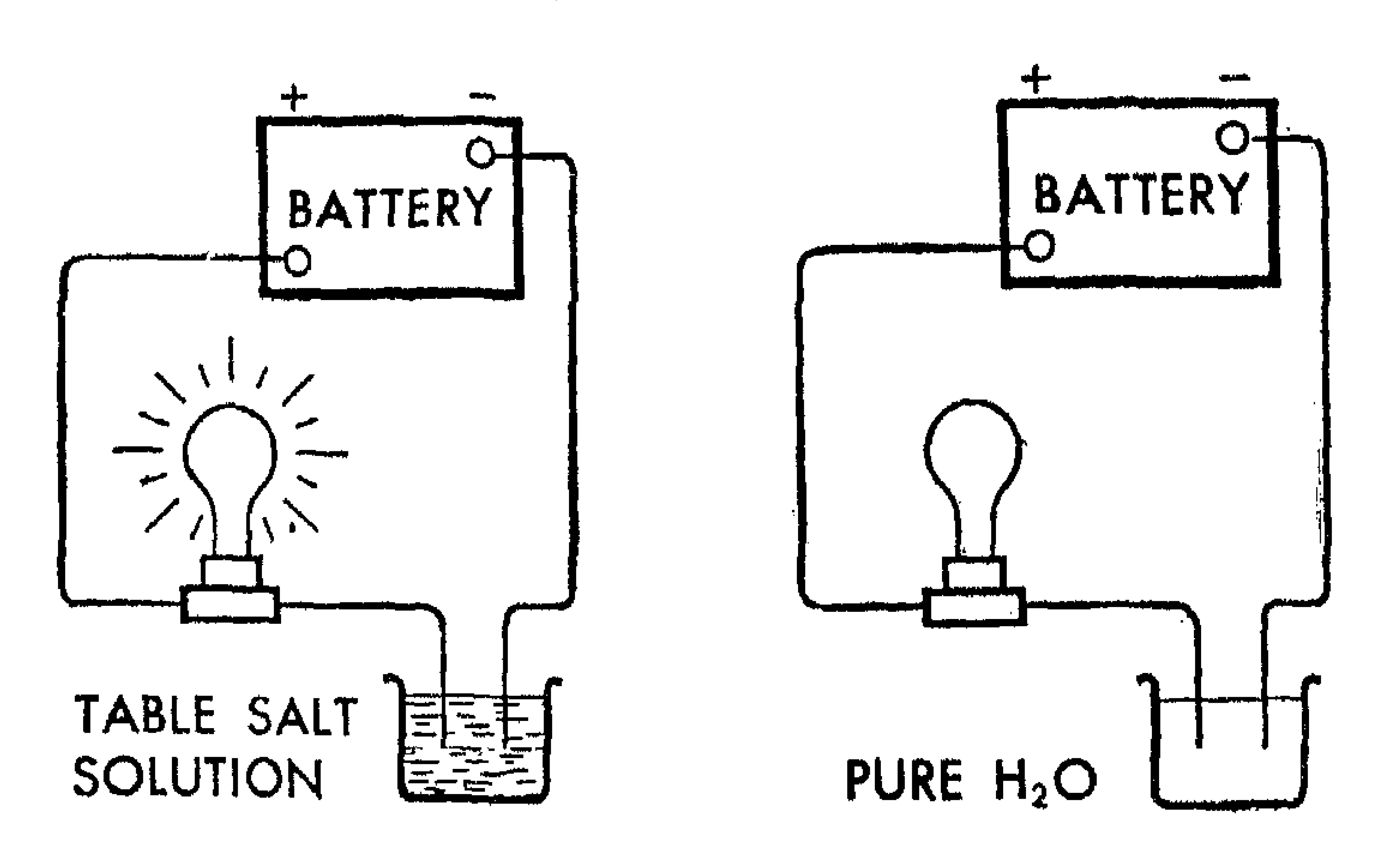
وللذوبان المركبات المختلفة أهمية شديدة فى علم التصوير الفوتوغرافى . وبعض المركبات الكيميائية شديدة القابلية للذوبان . وبعضها ذو قابلية ضعيفة جداً للذوبان ، فمثلا يعتمد تكون هاليدات الفضة فى تصنيع المستحاب الفوتوغرافى على محلول مركبين ذوى قابلية شديدة جداً للذوبان (هما نترات الفضة وأحد هاليدات البوتاسيوم) لإنتاج هاليد الفضة الشحيح الذوبان للغاية ،و الذى يترسب بالتالى فى المحلول. ولولا ذلك الترسيب لملح شحيح الذوبان للغاية لما كان المستحلب الفوتوغرافى قد أخترع على الإطلاق . وفى العادة يتم تعيين أو مدى ذوبان مركب ما بدلالة وزنه بالجرامات الذى يمكن إذابته فى مائة جرام من المـــاء عند درجة حرارة معينة . ومعاملات ذوبان Solubilities نترات الفضة وكلوريد البوتاسيوم وكلوريد الفضة عند درجة حرارة الحجرة هى: ١٢٢ ، ٣٥ ، ٠,٠٠٠٩ جم فى ١٠٠ سم ٣ من الماء على الترتيب .

وتشتمل محاليل الإظهار والتثبيت وبقية المحاليل الفوتوغرافية على عدة مواد كيميائية فى المحلول الواحد . ومن الممكن تحضير هذه المحاليل بسبب قابلية المواد الكيميائية المختلفة للذوبان ، حتى عند استعمالها مع بعضها البعض فى محلول واحد . ولكن هناك تجمعات كيميائية كثيرة لا يمكن إذابتها فى محلول واحد بسبب بعض القيود الناتجة عن القابلية الضعيفة للذوبان ، أو التفاعلات التى تحدث بين بعض المواد الكيميائية ، أو ترسيب المواد الناتجة من التفاعل .

التناين :

يرجع السبب فى إمكان حدوث تفاعلات بين المواد الكيميائية فى المحاليل إلى صفات معينة للمحاليل . فاذا وضعنا بعضاً من ماء الصنبور فى وعاء زجاجى

ثم غمسنا فى الماء سلكين موصلين بمصباح عادى من مصابيح التصوير الكهربائى الخاطف وببطارية جافة ، فقد نلاحظ توهجاً ضعيفاً جداً للمصباح . وإذا كررنا التجربة بعد إذابة كمية من ملح الطعام بقدر ملء القليل من ملاعق الشاى، فاننا نلاحظ انبعاث ضوء أكثر تألقاً . ويمكن إعادة هذه التجربة بمجموعة كاملة من الأحماض والقواعد والأملاح ، وسنشاهد الضوء فى كل مرة . وبعبارة أخرى ، توصل هذه المحاليل الكيميائية الكهرباء . فكيف يحدث هذا ؟ .



شكل رقم (١٥)

يقوم ملح الطعام بتوصيل الكهرباء بسبب قابليته للتأين

إذا قمنا بتسخين ماء الصنبور حتى نقطة الغليان، ثم سمحنا للبخار الناتج بالمرور إلى إناء بارد فاننا نحصل فيه على الماء النقى؛ بعد أن فقد أغلب الأملاح التى كانت مذابة فيه أصلا .وتسمى هذه العملية بالتقطير . والماء الناتج يسمى بالماء المقطر . وحيث إن الماء يصبح أكثر نقاء بعمليات التقطير المتكررة؛ فان التجارب التى تجرى فى جهاز قياس التوصيل الكهربى تبين أن التيار الذى يسمح له هذا الماء المقطر بالمرور خلاله يزداد ضعفاً كلما ازداد نقاء الماء نتيجة لتكرار عملية التقطير .

وقد ثبت عملياً أن الماء النقى لا يوصل الكهرباء . ويستخلص من هذه التجارب البسيطة أن الأملاح الذائبة فى الماء هى المسئولة عن توصيل المحاليل للكهرباء .

وبعض المركبات الكيميائية الأخرى مثل السكر؛ لا تسمح للتيار الكهربى بالسريان فى محاليلها . وحيث إن التيار الكهربى توجد به شحنات كهربائية سالبة

وموجبة ، فانه من المنطقى استنتاج أن ملح الطعام يعانى من تغير فى بنائه، لينتج شحنات كهربائية فى المحلول ، فى حين لا يفعل السكر . وعندما تختفى جزئيات ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) فى الماء ، فانها تميل إلى أن تنشطر ، أو تتفكك إلى جزئين يحمل كل منهما شحنة كهربية . والشحنتان متساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه .

$$\text{ص كل} \rightarrow \text{ص}^{+} + \text{كل}^{-}$$

وتسمى ذرات الصوديوم والكلور التى اكتسبت شحنات كهربية بالأيونات ، ويسمى نشوؤها فى المحاليل المائية بالتأين . وتبين الإشارة الموجبة أن أيون الصوديوم يحمل شحنة كهربية موجبة ، بينما السالبة تبين أن أيون الكلور يحمل شحنة كهربية سالبة . والتأين هو العملية التى جعلت من الممكن قيام تفاعل سريع جداً بين المواد الكيميائية المختلفة المذابة فى الماء . ويحظى تأين المركبات الكيميائية فى المحاليل المائية بأهمية كبيرة للغاية فى عمليات التشغيل الفوتوغرافى .

الباب السادس

محاليل الإظهار الفوتوغرافية

محاليل الإظهار الفوتوغرافية عبارة عن محاليل كيميائية خاصة بها مواد تتفاعل مع هاليدات الفضة التى تعرضت للضوء فى المستحلب الفوتوغرافى ، لتحيل الصورة الكامنة الخفية إلى صورة مرئية واضحة. والصورة الكامنة تتألف من بللورات صغيرة للغاية من هاليدات الفضة التى قد استقبلت تعريضاً ضوئياً . وعندما يتم التأثير على هذه البللورات بواسطة المحلول المظهر ، فانها تتحول إلى الفضة المعدنية التى تتكون منها الصورة المرئية .

وسوف نعتبر فى هذا الباب محاليل الإظهار الفوتوغرافية ، سواء تلك التى تباع فى عبوات معدة بواسطة مصنعى الأفلام ، أو تلك التى يتم تحضيرها بناء على تركيبات التحضير المنشورة ، الشائعة الاستعمال فى عمليات الإظهار المنتظمة لأفلام المحترفين والهواة والأوراق الفوتوغرافية . وتحتوى جميع محاليل الإظهار هذه على مواد تركيب أصلية معينة تؤدى نفس المهمة من تركيبه إلى أخرى (بصرف النظر عن نوع تركيبه التحضير المستخدمة) ، وبالرغم من أن كميات المواد الكيمائية المستخدمة وكذلك نوع المادة الكيميائية نفسها ، قد تختلف من تركيبه إلى أخرى .

المذيب :

يستعمل الماء فى مزج محاليل الإظهار لأنه يستطيع أن يتخلل الجيلاتين الموجود على المستحلب الفوتوغرافى ويستطيع أن يذيب المواد الكيمائية المختلفة التى لا بد من احتواء المستحلب الفوتوغرافى عليها . وفى حالات خاصة مثل تلك المتعلقة بمحاليل الإظهار

السائلة العالية التركيز ، قد يستدعى الأمر إضافة كميات صغيرة من مذيب ثان أو ثالث من أجل المحافظة على جميع المواد الكيميائية فى المحلول . وغالبا مايستعمل ثنائى ايثيلين الجليكول Diethylene Glycol ، الشبيه بالبريستون Prestone المقاوم للتجمد ، للمحافظة على المواد الكيميائية العضوية فى المحلول . ومن الضرورى بذل عناية فى اختيار المذيب الثانى ، إذ إن بعض المذيبات تحول دون إتمام الإظهار الكافى للصورة .

مادة الاظهـار :

مادة الإظهار عبارة عن مركب كيميائى له المقدرة على تغيير حبيبات هاليدات الفضة التى تعرضت للضوء إلى فضة معدنية ، بدون أن يكون له تأثير ملموس على بقية حبيبات المستحلب التى لم تتعرض للضوء .

وفى حين أنه يمكن استخدام بعض المركبات الكيميائية البسيطة جدا كعناصر إظهار ، فان تلك المواد المستخدمة فى أغلب محاليل الإظهار العملية ، عبارة عن مركبات كيماوية عضوية خاصة ذات بناء كيميائى أكثر تعقيدا . ويصدق هذا بصفة خاصة على عناصر الإظهار المقرنة للألوان والمستعملة فى التصوير الفوتوغرافى بالألوان .

المادة الحافظة :

عند إذابة مواد الإظهار فى الماء وتعريض المحلول للهواء ، يتفاعل أكسجين الهواء الجوى مع مادة الإظهار مكونا نتائج تأكسد ذات لون شديد الوضوح . ويحدث نفس التفاعل فى محاليل الإظهار الفوتوغرافية عند تعرضها للهواء ، سواء وهى مخزونة ، أو فى أثناء استعمالها فى عمليات الإظهار .

وتقوم المادة الحافظة وهى عادة سلفيت الصوديوم (ص كب ا ٣) بالاتحاد كيميائيا مع نتائج التأكسد لتمنع تكون المركبات الملونة ، وبذلك تحافظ على محاول الإظهار رائقا . كما أنها تقلل من معدل التأكسد بواسطة الهواء . وما يلبث محاول الإظهار أن يصبح ملونا باستمرار الاستعمال ، ولكن احتوائه على المادة الحافظة يسمح له باظهار عدد أكبر من المستحلبات — التى استقبلت تعريضا ضوئيا — قبل أن يصبح المحلول غير صالح للاستعمال .

المادة المنشطة :

لا تستطيع أغلب مواد الإظهار العضوية اختزال هاليدات الفضة المعرضة للضوء فى المحاليل المتعادلة ، أو على الأقل فانها تفعل ذلك بمعدل منخفض جدا لا يمكن الاستفادة منه عمليا . ولذلك يدخل فى تركيب محاليل الإظهار قلويات معينة لجعل عملية الإظهار أكثر نشاطا . ويتم التحكم فى النشاط الذى قد أضفى على المحلول بوسيلتين : الأولى هى المادة القلوية التى قدتم اختيارها ، والثانية هى درجة القلوية التى تكسبها المادة القلوية المختارة بالذات للمحلول . وأكثر المواد القلوية استعمالا فى العادة هى البوراكس ، وقلوى كوداك المتعادل Kodak Balanced Alkali ، وكربونات الصوديوم ، وأيدروكسيد الصوديوم . وقد أوردناها فى ذلك التسلسل حسب درجة نشاطها . فالبوراكس يكسب محاليل الإظهار أقل درجة من القلوية ، فى حين يكسبها أيدروكسيد الصوديوم أعلى درجة . وسلفيت الصوديوم المستعمل كمادة حافظة يعتبر قلويا ضعيفا ، ولذلك لا يلزم إضافة مادة قلوية إلى محلول الإظهار المحتوى عليها ، فى بعض الحالات الخاصة التى تقتضى استعمال عنصر إظهار نشط جداً مثل الأميدول .

المادة المثبطة :

هناك تركيبات كثيرة شائعة لمحاليل الإظهار يتم إعداد كل منها ليصبح صالحا لإظهار نوع معين من المواد الفوتوغرافية . وفى أغلب الأحيان تحتوى هذه المحاليل على مادة مثبطة — وهى بروميد البوتاسيوم (بوير) عادة ، لتحد من نشاط محلول الإظهار على المناطق التى لم تستقبل تعريضا ضوئيا (أى فى المناطق التى لا تحتوى على الصورة فى الفيلم السالب أو الموجب) . وعندما لا يجد هذا التأثير ما يثبطه فان بعض الفضه المعدنية تنتج فى المناطق التى لم تستقبل تعريضا ضوئيا ، وتسمى الكثافة الفوتوغرافية المعزاة إلى هذه الفضة المعدنية بضباب الإظهار .

محلول الإظهار كوداك « د – ٧٢ »

Kodak Developer D-72

	بوحدات الوزن المترية	بوحدات * Avoir du pois U.S. Liquid
ماء عند درجة حرارة ١٢٠°ف (٥٠°م)	٥٠٠ سم٣	١٦ أوقية سائلة
الميتول	٣ جم	٤٥ قمحة
سلفيت الصوديوم اللامائى	٤٥ جم	١½ أوقية
الهيدروكينون	١٢ جم	١٧٥ أوقية
كربونات الصوديوم ، أحادية		
ماء التبلر	٨٠ جم	١٢أوقية ، ٢٩٠قمحة
بروميد البوتاسيوم	٢ جم	٣٠ قمحة
أكمل بالماء حتى يصل الحجم النهائى إلى	لتر واحد	٣٢ أوقية

مكونات أخرى :

هناك بعض المواد الكيميائية المتنوعة التى قد تضاف أحيانا إلى محاليل الإظهار لتحقق أهدافا خاصة . فتضاف كبريتات الصوديوم (ص٢ كب ا٤) إلى محاليل الإظهار عند استعمالها فى معالجة الأفلام عند درجة حرارة أعلى من الدرجةالعادية . ولا تؤثر الكبريتات على إظهار الصورة بدرجة ملموسة . ولكنها تحد من زيادة انتفاخ الجيلاتين فعلا فى محاليل الإظهار . وتستطيع درجات الحرارة العالية جدا أن تلين الجيلاتين فى بعض المستحلبات إلى الحد الذى يجعله قابلا للتشوه الفيزيائى ، أو قد ينصهر الجيلاتين وينفصل المستحلب بأكمله ، من على الدعامة الفيلمية .

وكيمياء الإظهار الفوتوغرافى معقدة جدا ، إذا تحدث فيها عدة تفاعلات كيميائية تجرى كلها فى نفس الوقت . وتتكون فى أثناء الإظهار مركبات تختلف عن تلك المستخدمة فى تحضير المحاليل . وتحتوى بعض محاليل الإظهار التى تستخدم فى حالات خاصة على مكونات أخرى تدخل فى تفاعلات جانبية مع المواد الناتجة من تفاعلات

(*) Avoirdupois عيار الوزن يحدد الليبرة بستة عشر اوقية . (المترجم)

الإظهار الأساسية . ويتم أحيانا إجراء تعديل فى محلول الإظهار العادى ليتحول إلى ما يسمى بمحول الإظهار دقيق الحبيبات (أى الذى ينتج صورا دقيقة الحبيبات) بهدف الحصول على راسب أكثر تجانسا من حبيبات الفضة فى الصورة . ومن أمثلة هذا التعديل إضافة كمية قليلة من مادة كيميائية لها المقدرة على إذابة جزء من بلورات هاليد الفضة فى أثناء الإظهار . وتعتبر ثيوسيانات الصوديوم (ص ك ن كب) مذيبا نموذجيا لهاليدات الفضة . ويستخدم فى تركيبات التحضير الشبيهة بتلك المسماه محلول الإظهار كوداك د ك — ٢٠ (Kodak Developer DK 20). ومن الضرورى فى بعض الأوقات — للإقلال من معدل تكون الضباب —استعمال مركب كيميائى عضوى خاص ذى تأثير يضاف إلى ذلك الخاص بالمثبط العادى . وتسمى مثل هذه المركبات العضوية ، والتى من أمثلتها مادة البنزوترايازول Benzotraiazole بمانعات الضباب وتعتبر المادتان التاليتان :

Kodak Antifoggant No. 1   Kodak Antifoggant No. 2

نموذجان من المواد المانعة للضباب ، وهما يباعان فى عبوات جاهزة .

وهناك مواد مزيلة لعسر الماء تتحد كيميائيا مع المركبات الذائبة فى الماء ، وخاصة أملاح الكالسيوم والمغنسيوم ، محولة إياه إلى ماء يسر .

ويؤدى الكالسيوم الموجود فى الماء وفى المستحلبات الفوتوغرافية على الدعامات الورقية إلى تكون الغرين (أو الطمى) بمحلول الإظهار . وإذا أضيفت المادة المسماة كوداك — المضاد للكالسيوم Kodak Anti Calcium إلى المحلول المظهر فانها تتحد مع الكالسيوم وتمنع تكون هذا الطمى (أو الغرين) .

ويحتوى الكثير من محاليل الإظهار المعبئة على كميات طفيفة من مواد كيميائية خاصة ، يحتفظ المصنع لنفسه بتركيبها ونسبة وجودها ، سرا صناعيا له . وبذلك فهى تعتبر أسرارا تجارية ، تدخل فى تركيب محلول الإظهار المعبأ لتضفى عليه من الصفات المميزة المرغوبة قدرا أكبر من ذلك الذى تتمتع به تركيبات التحضير المنشورة ، أو السرية المنافسة .

وتستعمل فى محاليل الإظهار المكونة للألوان مركبات كيميائية عضوية خاصة تسمى مكونات الألوان ، أو مقرنات الألوان colour Couplers وسوف نناقشها فى الباب الثامن .

أنواع محاليل الاظهار :

قبل أن نستطرد فى مناقشة محاليل الإظهار يجب علينا وصف نوعين متميزين منها . وهما المعروفان باسم محاليل الإظهار الطبيعية أو الفيزيائية ، ومحاليل الإظهار الكيميائية أوالمباشرة . وهما يختلفان عن بعضهما البعض من حيث الطريقة التى يتبعها كل منهما فى تكوين الفضة فى الصورة الفوتوغرافية. والحقيقة أن كلا هذين النوعين من محاليل الإظهار ينتجان صوراً فضية بالوسائل الكيميائية . ولكن الاصطلاح طبيعى (أى فيزيائى) قد استعمل خطأ منذ سنوات طويلة ، وما زال يستعمل حتى اليوم لوصف هذا النوع من محاليل الإظهار .

محاليل الاظهار الطبيعية :

وفى هذه المحاليل تستمد الصورة ، الفضة اللازمة لها من هاليدات الفضة الموجودة فى المستحلب الفوتوغرافى . إذ يحتوى محلول الإظهار على الفضة على هيئة أحد أملاح الفضة القابلة للذوبان فى الماء، وتترسب فى أثناء الإظهار على الصورة الكامنة . ومحاليل الإظهار الطبيعية أقل كفاية من محاليل الإظهار الكيميائى بقدر كبير جداً .

وعند الرغبة فى استغلال طريقة الإظهار الطبيعى ، فانه لا بد أن تستقبل الأفلام عند تصويرها قدراً من التعريض الضوئى أكبر بكثير من ذلك الذى تستلزمه الأفلام المطلوب إظهارها فى محاليل الإظهار الكيميائية . ولقد ثبت أنه من الصعب إخضاع عمليات الإظهار الطبيعية إلى ظروف التحكم والمراقبة الضروريين . ولكنها قد وجدت ذات فائدة لأنواع معينة من الأبحاث التى تجرى لدراسة صفات الصورة الكامنة . ولكنها ليست عملية بالنسبة لظروف التشغيل العادية .

محاليل الاظهار الكيميائى :

وفى هذه المحاليل تستمد الصورة (التى يتم تشغيلها فيها) الفضة اللازمة لتكونها من هاليدات الفضة الموجودة فى المستحلب الفوتوغرافى . وهذه هى محاليل الإظهار

العادية المستعملة فى التطبيق العملى العام للتصوير الفوتوغرافى . ونفتت هذه المحاليل هاليدات الفضة التى استقبلت التعريض الضوئى ولا تترك على الفيلم إلا الفضة المعدنية وسوف نبين فى الباب التالى (السابع) طريقة حدوث ذلك .

المواد الكيميائية المستخدمة فى المحاليل الفوتوغرافية :

لقد ناقشنا فى الباب الخامس أنواع مختلفة من المركبات الكيميائية مثل الأحماض والقواعد والأملاح . وهناك مواد كيميائية عديدة تستخدم فى الدراسات والتطبيقات المتنوعة للعملية الفوتوغرافية ، ولكن القليل منها نسبياً هو الذى يستخدم فعلا فى عمليات تشغيل الصور السالبة أو الموجبة .

المظهر :

أغلب المواد الكيميائية المستخدمة فى تحضير المحاليل الفوتوغرافية بلورات أو مساحيق ذات لون أبيض ومن ثم فمن الصعب التفرقة بين أحدها والآخر . ويجب حفظ الكيماويات الفوتوغرافية فى أوعيـــة محكمة الغلق توضح عليها أسماء محتوياتها ، وتواريخها بعناية . ولا ينبغى الاعتماد على المظهر إطلاقاً كوسيلة للتعرف على هذه المواد ، حتى ولو كان من الممكن التعرف على بعض الكيماويات بهذه الكيفية . ولا ينبغى ترك الكيماويات فى أوعية مفتوحة ، ومعرضة للهواء لأن الأكسجين الجوى يهاجم بعضها بينما يعانى البعض الآخر من تغيرات طبيعية .

الذوبان (أو الاذابة) :

يختلف وزن المادة الكيميائية التى تذوب فى حجم معين من الماء من مادة إلى أخرى . ولدرجة حرارة المـــاء تأثير ملحوظ على الذوبان ، إذ إن بعض المواد الكيميائية تصبح أكثر قابلية للذوبان ، والأخرى أقل قابلية بارتفاع درجة الحرارة .

ويبين الجدول رقم ٣ بعض الأملاح المستخدمة فى المحاليل الفوتوغرافية ومعاملات ذوبانها (أو إذابتها) .

يجب كما قررنا من قبل أن تكون المواد الكيميائية المستعملة فى تحضير محاليل الإظهار وبقية محاليل التشغيل ، قابلة للذوبان فى الماء بدرجة كافية ، وبالقدر

الذى يسمح لكل المواد الداخلة فى تركيب حمامات التشغيل بالبقاء فى المحاليل بالكميات اللازمة .

جدول رقم (٣)

الأوزان التقريبية (بالجرامات التى تذوب فى ١٠٠ سم٣ من الماء

المـــادة الكيميائية	فى الماء البارد	فى الماء الدافئ
سلفيت الصوديوم	٣٠	٥٠
كربونات الصوديوم	٣٠	٤٠
بروميد البوتاسيوم	٧٠	١٠٠
ثيوسلفات الصوديوم.	٢٠٠	يزداد
حامض البوريك	٥,٥	١٧
شب البوتاس	١٤,٠٠	٥٠,٠٠
شب الكروم	٢٥,٠٠	٤٠

ومواد الإظهار عبارة عن مواد كيميائية عضوية خاصة، تختلف تماماً فى بنائها عن المركبات غير العضوية المبينة فى الجدول رقم ٣ . والكثير من المركبات العضوية عديم الذوبان نسبياً فى الماء . ولكنه من الممكن جعلها أكثر قابلية للذوبان بالسماح لها بالدخول فى تفاعلات كيميائية لإنتاج ملح للمركب، يستخدم بدلا من المركب نفسه . فمثلا عنصر الإظهار المسمى إيلون كوداك Kodak Elin Developing Agent[1] وهو كبريتات البارامثيل أمينوفينول P.Me thyl Amino Phenol ، ملح متوسط الذوبان فى الماء . فى حين أن الشق القاعدى نفسه شحيح الذوبان . وفى الناحية الأخرى هناك الهيدروكينون ، وهو مركب عضوى مباشر[2] ، ذو قابلية للذوبان تسمح باستعماله مباشرة فى محاليل الإظهار .

(١) لهذا المركب عدة أسماء تجارية أخرى منها الميتول والپيكتول والدودول .
(المؤلف)

(٢) اى ليس ملحا لمركب عضوى مثل الميتول .
(المترجم)

المحتوى المائى :

يحتوى عدد كبير من المواد الكيميائية فى حالتها الصلبة العادية على نسبة محددة من الماء . فكربونات الصوديوم وسلفيت الصوديوم ، وكبريتات الصوديوم وثيوسلفات الصوديوم (الهيبو) عبارة عن مواد كيميائية فوتوغرافية تحتوى على الماء فى بلوراتها .

وتتواجد كربونات الصوديوم على حالتين من البلورات تحتوى كل حالة منهما على كمية مختلفة من ماء التبلر وهما: ص٢ ك ا٣ ، ١٠ يد٢ ا ، ص٢ ك ا٣ ، يد٢ ا . وتتواجد كبريتات الصوديوم فى أشكال عديدة ، يحتوى أكثرها تعقيداً على ٣٢ جزىء من ماء التبلر . أما سلفيت الصوديوم وثيوسلفات الصوديوم فيتواجد كل منهما على هيئة بلورية واحدة تحتوى على سبعة جزيئات وخمسة جزيئات ماء تبلر على الترتيب . ورمز الأولى هو :

ص٢ كب ا ٣ • ٧ يد٢ ا ، ص٢ كب٢ ا٣ • ٥ يد٢ ا .

ويؤثر وجود جزئيات الماء فى هذه المواد الكيميائية على الوزن الجزيئى لها كمركبات . كما يؤثر فى حالات كثيرة على شكلها البللورى . وفى بعض الأحيان يصبح فى الإمكان إزالة كل أو بعض ماء التبلر فى أثناء التصنيع . وحينئذ توصف المادة الكيميائية بأنهـا لا مائية Anhydrous إذا تمت إزالة جميع ماء التبلر منها أو مجففة Dessicated إذا تم نقص ماء التبلر فيهـا بحيث أصبحت كميته منخفضة جداً . ويعنى هذا أنه يمكن تجفيف بعض المواد الكيميائية حتى تصبح لا مائية . وفى بعض الحالات تصبح المادة الكيميائية المجففة أقل ثباتاً . وتتحسن صفات حفظها المميزة لها . وبالتالى فان سلفيت الصوديوم وثيوسلفات الصوديوم المجففة لا تحتوى من الوجهة العلمية على ماء تبلر . وتحتوى كربونات الصوديوم الأحادية المياه على جزء واحد من الماء وينصح عادة باستعمال هذا النوع من كربونات الصوديوم فى التصوير الفوتوغرافى . ولكن ثيوسلفات الصوديوم (أى الهيبو) تطرح للاستعمال عادة وهى على هيئة بللورات منشورية تحتوى على خمسة جزيئات من ماء التبلر ، أى أن رمزها الكيميائى هو ص٢ كب٢ ا٣ • ٥ يد٢ ا . ولا يتمتع النوع اللامائى منها بصفات حفظ جيدة ، إذ يميل إذا ما تعرض للهواء إلى امتصاص بخار الماء منه . وأيدروكسيد الصوديوم أيضاً يمتص الماء . وتوصف المواد

الكيميائية التى تسلك حيال بخار الماء بهذه الكيفية بأنها مواد متميعة Deliquescent ولا تتمتع بعض المواد الكيميائية المحتوية على ماء تبلر بظروف حفظ جيدة عند تعرضها للهواء لأنها تفقد ماء تبلرها . وتسمى هذه المواد بأنها مواد متزهرة Efflorescent ، وكربيتات الصوديوم المتبلرة مثال جيد لهذا النوع من المواد الكيميائية .

حرارة الذوبان :

قد تسبب بعض المواد الكيميائية عند إذابتها امتصاص حرارة أو انبعاث حرارة من الوسط المحيط بها . فعند إذابة أيدروكسيد الصوديوم ينبعث قدر كبير من الحرارة . ويحدث ارتفاع فى درجة الحرارة يقدر بحوالى ٤٠ درجة فهرنهيتى ، عند إذابة خمسين جراماً من أيدروكسيد الصوديوم فى نصف لتر من الماء . ويوصف ذلك التفاعل بأنه تفاعل طارد للحرارة Exothermic . وفى هذه الحالات يجب استعمال الماء البارد دائماً . وعندما تستدعى الحاجة تحضير محاليل مركزة من هذا الأيدروكسيد يجب استعمال وعاء من الخزف (الفخار) ، أو وعاء مطلى بالميناء ، أو من الصلب غير القابل للصدأ . أما إذا استعمل إناء زجاجى فى المزج فانه لابد من وضعه فوق قطعة من القماش ، أو الاسبستوس Asbestos حتى لا يلتصق قاع الإناء بالطلاء المغطى للسطح الموضوع عليه، أو أى سطح آخر يلين بالحرارة المنبعثة . وقد وقعت حوادث خطيرة من جراء عدم مراعاة هذا الاحتياط .

وينتسب تحضير محاليل الأحماض – إلى حد ما – لذلك النوع من التفاعلات . ولمنع الانبعاث السريع والخطير للحرارة عند تخفيف الأحماض القوية ، يجب دائماً إضافة الحامض إلى الماء مع التقليب . ولا يضاف الماء إلى الحامض .

ويسلك الهيبو المتبلر سلوكاً مضاداً تماماً . فقد وجد بالتجربة أنه عند إذابة ٢٢٥ جم من الهيبو المتبلر فى نصف لتر من الماء عند درجة حرارة الغرفة تنخفض درجة حرارة المحلول بمقدار ٢٠° ف .

ويوصف هذا النوع من التفاعلات بأنه تفاعل ماص للحرارة Endothermic إذ يصحبه امتصاص للحرارة . ويمكن فى هذه الحالة استعمال الماء الدافئ أو حتى الماء الساخن .

تحضير المحاليل الفوتوغرافية :

من الضرورى إخضاع عمليات تشغيل المواد الفوتوغرافية لنوع دقيق من التحكم والمراقبة حتى نستطيع الحصول على النتائج الممتازة التى نرغبها . ويحظى الخلط (أو التحضير) المعتنى به لمحاليل التشغيل بالأهمية العظمى . ومن الواجب المحافظة على أوعية التحضير ، وجرادل المياه والتنكات (المخصصة لحفظ المحاليل أو لعمليات التشغيل) والحجر ت المظلمة نظيفة فى كل وقت من الأوقات . ويجب تحاشى الغبار الكيميائى . ويعتبر استعمال فوطة نظيفة من القماش لمسح الأسطح الموجودة فى مكان العمل من حين لآخر بالوسيلة العملية السليمة ، وبالذات بعد وزن وتحضير المواد الكيميائية. وقد يؤدى التلوث إلى تلف محاليل الإظهار بسرعة . فمثلا إذا تلوثت محاليل الإظهار بكبريتور الصوديوم ، تعانى الأفلام التى تعالج فيها من ظهور تعانى الضباب عليها ، حتى ولو لم تتجاوز كمية كبريتور الصوديوم الآثار الطفيفة للغاية .

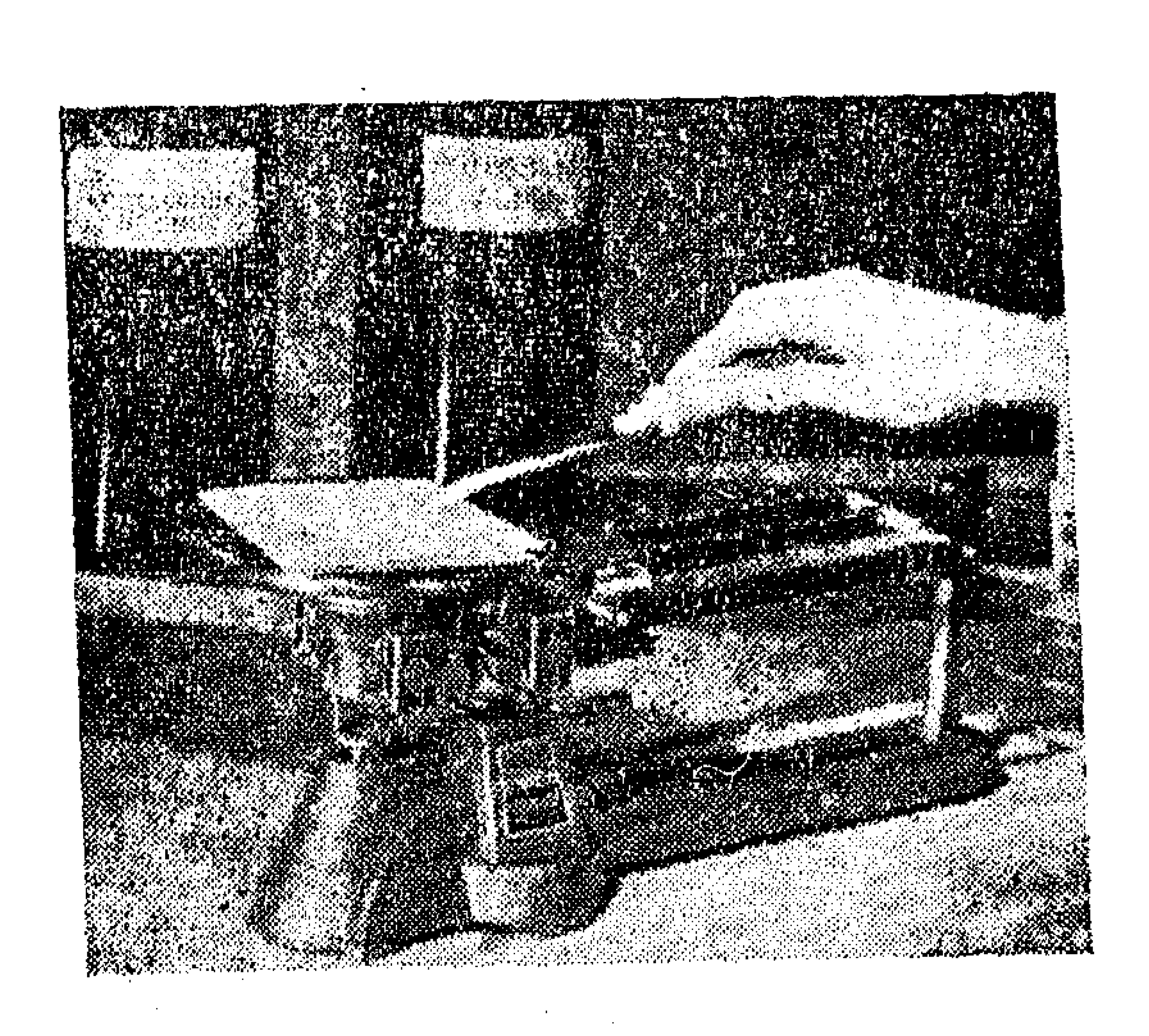
ويجب عند وزن الكيماويات استعمال وحدات القياس الملائمة للكميات المطلوبة . وكذلك وضع قطعة نظيفة من الورق على كفة الميزان مع كل مادة طبقا للعرف الموصى به . ويجب التخلص من الورقة بعد وزن كل مادة ؛ واستعمال ورقة نظيفة جديدة .

كما يجب اختبار مصدر المياه للتأكد من خلوه من الشوائب الضارة . ولكنه ليس من الضرورى عامة استخدام الماء المقطر ، أو الماء ذى درجة النقاء الكيميائية. والحقيقة أنه يمكن استعمال أى نوع من الماء حتى ماء البحر فى تحضير المحاليل الفوتوغرافية ، بالرغم من احتمال احتواء المحلول نتيجة لهذا على بعض الطمى . ويترسب هذا الطمى فى المحلول بسبب التفاعلات الكيميائية التى تحدث بين أملاح الكالسيوم والمغنسيوم الموجودة بتركيز مرتفع فى ماء البحر ، وبين سلفيت الصوديوم الموجود فى محلول الإظهار . ولكنه من الممكن السماح له بالاستقرار فى قاع الإناء الحاوى للمحلول ، ثم سحب المحلول الرائق بعيدا عنه أو نزحه من فوقه . ولا يصحب ذلك تأثير ملموس على إظهار الصورة عامة .

ويحتوى محلول الإظهار الفوتوغرافى كما ذكرنا من قبل على عدة مواد كيميائية ، يتواجد بعضها فيه بدرجات تركيز مرتفعة جدا . وحتى نصبح على يقين من تمام

إذابة المواد الكيميائية ، فانه يجب إذابتها فى المحلول تبعا لترتيب معين .. ويراعى فى تركيبات تحضير محاليل الإظهار ومحاليل التشغيل الأخرى التى تنشرها الشركات الفوتوغرافية أن ترد فيها المواد الكيميائية الداخلة فى تركيبها بحسب ترتيب إذابتها . ويجب إذابة كل مادة تماما قبل إضافة المادة التالية لها إلى المحلول. وينطبق ذلك تماما أيضا على الأجزاء المنفصلة لبعض محاليل الإظهار المعبأة أو كيماويات التشغيل الفوتوغرافى ذات الملكية الخاصة للمصنعين .

ويمكن تحضير أغلب محاليل التشغيل الفوتوغرافية عند درجة حرارة قدرها ١٢٥ ف . وتبدأ العملية بملأ وعاء التحضير بحجم من الماء يتراوح فيما بين حوالى نصف أو ثلاثة أرباع الحجم النهائى للمحلول . ثم تسخين الماء إلى درجة ١٢٥ ف . وبعد إذابة جميع المواد الكيميائية اللازمة للمحلول يضاف من الماء البارد القدر اللازم لتكملة الحجم النهائى للمحلول . ويجب عند تحضير محاليل الإظهار إضافة حوالى عشر كمية سلفيت الصوديوم إلى الماء قبل إضافة عنصر الإظهار إليه . ويساعد هذا على منع تلون المحلول بأى لون غريب بفعل أكسجين الهواء الجوى . وأى استثناء لهذه القاعدة العامة تم الإشارة إليه فى تعليمات التحضير الخاصة بمحلول معين .



شكل رقم ١٦)
الطريقة الموصى بها فى وزن المواد الكيميائية . ولتحاشى تلوث المواد ببعضها ، يجب استعمال ورقة نظيفة عند وزن كل مادة

ويجب أن يكون حجم المحلول الذى تم تحضيره فى المرة الواحدة كافيا تماما لاحتياجات أسبوعين أو ثلاثة ، ولا بد من تخزينه فى زجاجات مغلقة باحكام . وهناك بعض المحاليل التى يجب تحضيرها بالكاد قبل استعمالها ، وذلك لافتقارها إلى صفات الحفظ الجيدة . ومن أمثلة ذلك محاليل الإظهار التى تحتوى على أيدروكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية) كمادة منشطة . وعلى كل ، فانه من الممكن فى الكثير من هذه الحالات ، تجزئة المواد الكيميائية الموجودة فى التركيبة الواحدة إلى مجموعتين أو أكثر ، وإذابة كل مجموعة فى قدر منفصل من الماء ، حتى يمكن الحصول على كميات أكثر ثباتا من محلول الإظهار النهائى . ومن هذه الكميات يمكن تحضير المحلول اللازم للعمل بسهولة بخلطها مع بعضها البعض بالنسب الصحيحة قبل الاستعمال مباشرة .

المكاييل والمقاييس :

تحتوى التركيبات الفوتوغرافية المنشورة عادة على نظامين للمكاييل والمقاييس ، هما النظام المترى ونظام Avoirdupois ، وفى النظام المترى يتم وزن الكيماويات بكسور الجرام أو بمضاعفاته . ويقاس حجم الماء اللازم لاذابتها بالسنتميترات المكعبة أو اللترات. أما فى نظام Avoirdupois فان المواد الكيماوية توزن بالقمحات Grains ، والأوقيات Ounces ، والأرطال Pounds . فى حين يقاس حجم الماء المستخدم فى إذابتها بالبنت Pint ، والكوارت Quart ، والجالون Gallon . ويمكن باستعمال جدول تحويلات (انظر الملحق) لتحويل تركيبة معطاة طبقا لأحد النظامين ، إلى النظام الآخر. والنظام المترى هو الأبسط فى الاستعمال عادة حيث إنه يقوم على مضاعفات العشرة .

وهناك أيضا نظامان لقياس الحرارة ـــ هما النظام المئوى والنظام الفهرنهيتى . ويستعمل الأخير عامة فى المجال الفوتوغرافى بالولايات المتحدة ، أما الأول فيستعمل فى الأقطار الأوربية .

ويبدأ التدريج الفهرنهيتى من درجة ٣٢ حتى درجة ٢١٢ أى من نقطة تجمد الماء إلى نقطة غليانه . أما التدريج المئوى فيبدأ من الصفر حتى ماية درجة أى من نقطة التجمد إلى نقطة الغليان . وحيث إن نسبة التدريجين هى ١٨٠ إلى ١٠٠ أى ٩ إلى ٥ ، فانه يمكن استعمال معادلة تحويل بسيطة من أحدهما إلى الآخر . وللتحويل من التدريج الفهرنهيتى إلى المئوى تستعمل المعادلة الآتية :

(ف – ٣٢) × ٥/٩ = مئوى . وللتحويل من المئوى إلى الفهرنهيتى ، تستخدم المعادلة الآتية : (مئوى × ٥/٩) + ٣٢ =فهرنهيتى .



شكل رقم (١٧)
يمكن تحضير أغلب محاليل التشغيل الحديثة بواسطة الكيماويات المعبئة الملائمة

المواد الكيميائية المعبأة

لا شك أن استخدام المواد الكيميائية المعبأة يؤدى إلى تبسيط عملية تحضير المحاليل الفوتوغرافية . وكيفما كان الأمر ، فانه لابد من اتباع تعليمات التحضير بعناية . ويجدها المستهلك مطبوعة على البطاقات الملصوقة على العبوات . والتركيبات المعبأة على صورة مسحوق جاف تتكون أساسا من نفس المواد الكيميائية التى ناقشناها من قبل . وعندما لا تتبع تعليمات التحضير الصحيحة ، فان بعض المكونات قد لا تذوب تماما مما يؤدى إلى تعكر المحلول ، أو تكون غرين (طمى) فيه . وبنفس الكيفية يجب عند استعمال التركيبات المعبئة على هيئة سوائل أن يتم تخفيفها بطريقة صحيحة طبقا للتعليمات حتى يمكن الحصول على نتائج مقنعة .

وفى تشغيل المواد الملونة تحدث نفس التفاعلات الأساسية التى تعرفنا عليها فى حالة الأبيض والأسود . ويجب مراعاة نفس الاحتياطات فى تحضير وتداول المحاليل . وعلى كل ، فان التشغيل الملون الكامل أكثر تعقيداً من الأبيض والأسود . وتستخدم فيه مواد كيماوية إضافية تستوجب قيام تفاعلات إضافية وضرورية بالنسبة لنشوء الصبغات التى تتكون منها الصور الملونة. كما أن بعض عمليات الألوان تستوجب التشغيل العكسى الذى خصصنا له الباب الثانى عشر . وسوف نناقش العمليات المختلفة للتصوير الفوتوغرافى بالألوان وكذلك تشغيل المواد الملونة فى الباب الثالث عشر .

الباب السابع

كيمياء عمليـــة الإظهار

الإظهار هو الطريقة المتبعة لتحويل الصورة الكامنة التى تكونت فى أثناء التعريض إلى صورة واضحة مرئية باستعمال محاليل خاصة تسمى محاليل الإظهار. والسؤال الآن هو: كيف تتفاعل هذه المواد الكيميائية فى محلول الإظهار مع الصورة الكامنة محولة إياها إلى صورة مرئية ؟ ؟

عملية الإظهار فى حقيقتها عملية اختزال كيميائى يتم فيها اختزال هاليدات الفضة إلى فضة معدنية . وبعبارة أخرى يقوم محلول الإظهار بتوفير الأسباب للتفاعلات الآتية كى تتم بطريقة ما :

ف كل
ف بر } ف (فضة معدنية)
ف ى

وقد تم تعريف المواد الكيميائية المختزلة منذ سنوات عديدة بأنها مواد ذات قابلية للأكسجين ، وتستطيع إطلاق المعادن من أملاحها . فمثلا إذا سمحنا لغاز الأيدروجين بالمرور خلال أنبوبة ساخنة تحتوى على أكسيد النحاس الأسود فانه سوف يتحد بالأكسجين منتجا الماء . ويتبقى فى الأنبوبة النحاس الفلز (أى فلز النحاس) . والمعادلة الآتية تعبر عن هذا التفاعل باللغة الكيميائية وهى تبين استخدام الأيدروجين كعنصر إختزال ومدى شراهته للأكسجين .

نح ا + ٢ يد = نح + يد$_{٢}$ أ

وبعد أن تقدم ذلك الفرع من فروع علم الكيمياء المختص بشرح وتفسير التفاعلات الكيميائية ، لوحظ أن هناك عمليات اختزال كيميائية تحدث بدون أن يكون للأيدروجين أو الأكسجين دور فيها . إذ تتم نتيجة حدوث تغير فى العلاقات الكهربائية بين الذرات .

ولقد ناقشنا فى الباب الخامس عملية التأين على أنها عملية تحالل أو انشطار المادة الكيميائية فى المحلول إلى أيونات موجبة وأيونات سالبة ، مثل :

$$\text{ص كل} = \text{ص}^{+} + \text{كل}^{-}$$

وهذه الأيونات فى الحقيقة عبارة عن ذارت الصوديوم والكلور غير المتعادلة من حيث الشحنة الكهربية . وطبقا للنظرية الذرية الحديثة تحمل جميع الذرات المتعادلة أعداد متساوية من الشحنات الكهربية الموجبة والسالبة . وحيث إن أيون الصوديوم ذو شحنة موجبة زائدة (أى فائضة) ، فان ذرة الصوديوم لابد قد فقدت شحنة سالبة واحدة تسمى بالالكترون . وبهذا يتأكسد الصوديوم . وإذا استطعنا بطريقة ما أن نعادل الشحنة الموجبة الفائضة الموجودة على الصوديوم بادخال الكيترون واحد إليها ، فان أيون الصوديوم يختزل ويتحول إلى الصوديوم الفلزى ، أى أن :

$$\text{ص}^{+} + \text{الكيترون} \longrightarrow \text{ص (فلز الصوديوم)}$$

وفى أثناء عملية الإظهار الفوتوغرافى تنغمر العجينة الفوقوغرافية فى محلول الإظهار . وبالرغم من أن هاليدات الفضة شحيحة الذوبان للغاية ، فان كمية قليلة منها تذوب فعلا وتتأين ، منتجة أيونات الفضة وأيونات الكلور :

$$\text{ف كل} = \text{ف}^{+} + \text{كل}^{-}$$

وحيث إن الإظهار عملية اختزال كيميائى ، فانه يمكن تمثيل التفاعل بالمعادلة التالية :

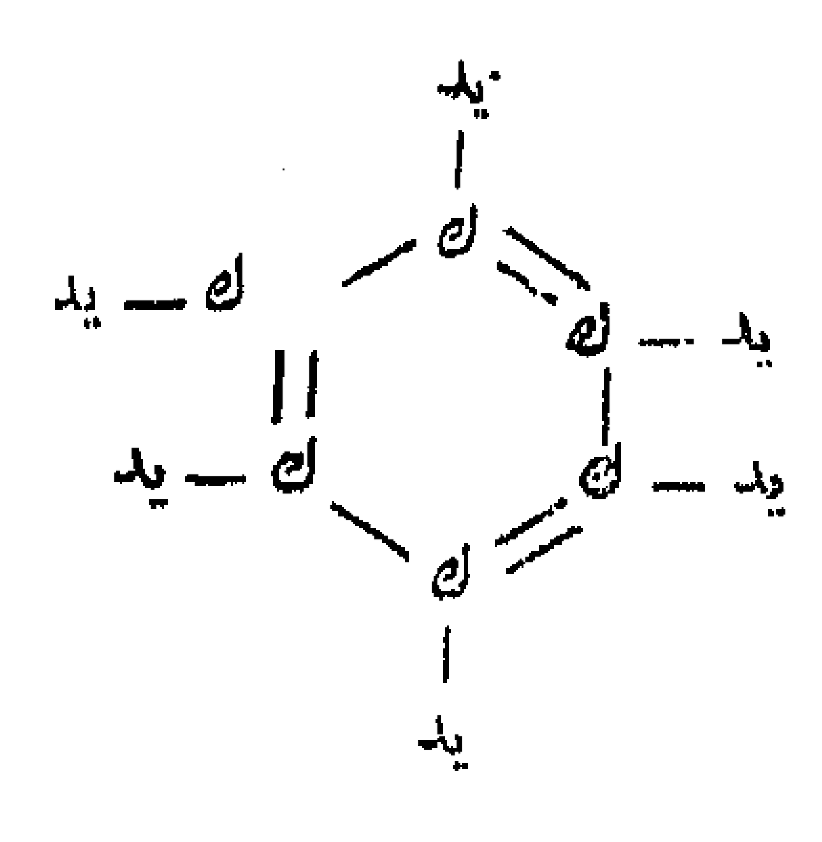
$$\text{ف}^{+} + \text{الكيترون} \rightarrow \text{ف (فضة معدنية)}$$

وما إن يبدأ هذا التفاعل حتى يتأين المزيد من هاليدات الفضة التى استقبلت تعريضا ضوئيا ، ويختزل حتى تتحول كل الهاليدات التى تعرضت للضوء

إلى فضة معدنية . وعلى كل ، فانه ليست هناك معادلة واحدة بسيطة يمكن كتابتها لشرح التفاعلات الكيميائية الدقيقة التى تتضمنها عملية الإظهار بواسطة محاليل الإظهار العملية . إذ إن هناك عدة تفاعلات كيميائية متنوعة تتم فى نفس الوقت ، مما يجعل من كيمياء الإظهار عملية شديدة التعقيد .

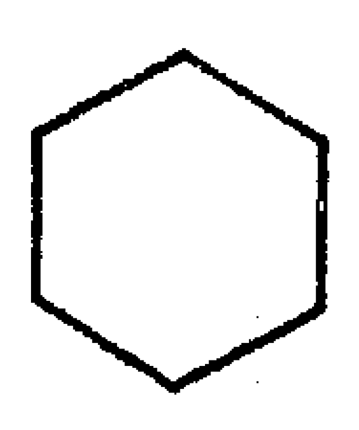
عناصر الاظهار :

وهى عبارة عن مركبات عضوية خاصة لها المقدرة ، وهى بداخل المحلول المظهر ، على إظهار هاليدات الفضة التى تعرضت للضوء بدون أن تؤثر على تلك التى لم تستقبل تعريضا ضوئيا . وهى مواد اختزال تمد المحلول بالأليكترونات اللازمة ، لاختزال أيونات الفضة المعدنية . وتنتسب أكثر مواد الإظهار شيوعا فى الاستعمال إلى البنزين ، وذلك من الوجهة الكيميائية . ومعادلة البنزين الكيميائية هى ك٦ يد٦ . ويتم تمثيل المواد الكيميائية العضوية عادة بمعادلات بنائية تبين الأماكن النسبية التى تشغلها الذرات المكونة للجزىء فى الفراغ . ويمثل البنزين بالمعادلة البنائية التالية :



ومنها يتضح تواجد ست ذرات كربون فى حلقة مقفولة . وتتصل كل ذرة منها بذرة أيدروجين واحدة .

ويعتبر هذا الترتيب بالذات ذو ذرات الكربون الستة وحدة أساسية فى عدد كبير جدا من المركبات ، ولهذا فانه يمثل عامة بالرمز البسيط التالى :



وتمثل كل زاوية من زوايا الشكل السداسى إحدى ذرات الكربون الستة، وذرة الأيدروجين المتصلة بها .

ويمكن — بالتفاعلات الكيميائية — إحلال مجموعات صغيرة أو كبيرة من الذرات محل ذرة واحدة أو أكثر من ذرات الأيدروجين. ومن ثم يمكن تمثيل الهيدرو كينون باحدى الصيغتين البناءتين التاليتين :

ا يد ا يد
أو
ا يد ا يد

ويتضح لنا من قراءة الرمز المبسط السابق أن مجموعتى (ا يد) قد حلتا محل ذرتى أيدروجين ، ولكن ذرات الأيدروجين الأربع الأخرى قد ظلت فى مكانها عند الزوايا الأربعة المنبسطة. وتسمى مجموعتا (ا يد) اللتان قد حلتا محل اثنتين من ذرات الأيدروجين الستة بمجموعتى الأيدروكسيل . ومن عناصر الإظهار الشائعة الأخرى الميتول * ، والبارا أمينوفينول Para-amino phenol ، والبارا فينيلين ديامين Para Phenylene diamine . ولا تقوم مواد الإظهار العضوية بمفردها باظهار الصورة . إذ لا بد من إضافة مادة منشطة لتهيىء مادة الإظهار بحيث تجعلها قادرة على إظهار هاليدات الفضة التى قد تعرضت للضوء . وإذا أخذنا الهيدروكينون كمثال ، فاننا نستطيع تمثيل تأثير المنشط — وهو مادة قلوية — بالمعادلة التالية :

ا يد + ٢ ص ا يد = ص ا + ٢ يد٢ ا
ا يد ص ا

* Kodak Elon devoloping Agent.

ويتفاعل أيدروكسيد الصوديوم مع الهيدروكينون مكونا الملح الصوديومى له (أى لمادة الإظهار) . وإذا تواجد هذا الملح فى محلول مائى، فانه يتأين، أو يتفكك على نفس المنوال الذى يتأين به كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) .

ص ا   ا$^-$

(حلقة) ← (حلقة) + ٢ ص$^+$

ص ا   ا$^-$

وتحمل الذرة السالبة شحنتين فائضتين، أى يزيد عدد الأليكترونات عن عدد الشحنات الموجبة الموجودة فى النواة، وبذلك تتحول الذرة إلى أيون سالب . وإذا حصل أيون الفضة الموجب الناتج عن تحلل هاليد الفضة على هذين الأليكترونين يحدث التفاعل الآتى :

ف$^+$ + اليكترون ← ف

وهو يمثل اختزال أيونات الفضة إلى الفضة المعدنية . ويجب أن نتذكر أن ذلك التفاعل يمثل النتيجة النهائية لعدة تفاعلات كيميائية . ولكنه يمدنا بفكرة ما عن كيفية تكون الصورة فى المحلول المظهر .

المواد المنشطة :

القلويات التالية هى أكثر المواد الكيماوية شيوعاً فى الاستعمال كمواد منشطة فى محاليل الإظهار الفوتوغرافية :

ايدروكسيد الصوديوم   ص ا يد

كربونات الصوديوم   ص$_٢$ ك ا$_٣$

قلوى كوداك المتعادل

البوراكس

وهى مرتبة بحسب تناقص نشاطها ، أى أن محاليل الإظهار المحتوية على أيدروكسيد الصوديوم تعتبر أكثر نشاطاً من تلك المحتوية على البوراكس . وفى

محاليل الإظهار الشديدة النشاط ، تنشأ على الفيلم كمية معينة من الفضة المعدنية (وهى المادة التى تتكون منها الصورة) فى فترة زمنية أقل بكثير من تلك التى تنقضى لنشوء نفس الكمية فى محلول إظهار منخفض النشاط .

ويتم التحكم فى نشاط محاليل الإظهار إلى حد كبير بواسطة درجات قلويتها . وهى تتوقف بالذات على نوع القلوى المستخدم، وعلى كميته . وتستخدم قيم الأس الأيدروجينى للتعبير عن درجات القلوية النسبية لمحاليل الإظهار . وكذلك تتأثر قيمة الأس الأيدروجينى ببقية المواد الكيميائية الداخلة فى تكوين المظهر . ولكن العامل الأساسى الذى يحدد قيمتها هو الصفات المميزة للمادة القلوية المستخدمة. وقد نسأل الآن : ماالذى نعنيه بالأس الأيدروجينى للمحلول ؟

الأس الأيدروجينى :

أدى اثنان من التطورات الهامة فى الأيام المبكرة لعلم الكيمياء إلى إدخال نظرية الأس الأيدروجينى . فقد كان التعرف على الأحماض والقلويات يعتمد على حقيقة أن الأحماض تحيل ورقة عباد الشمس * إلى اللون الأحمر، فى حين تحيلها القلويات إلى اللون الأزرق . وقد اكتشف أيضاً أن الأحماض والقلويات والأملاح تتأين أو تتفكك فى المحاليل المائية إلى أيونات موجبة الشحنة، وأيونات سالبة الشحنة. فالأحماض ، كحامض الأيدروكلوريك مثلا ، تعطى أيونات الأيدورجين ، وهى تحمل شحنة موجبة واحدة ، فمثلا :

$$\text{يـد كل} \rightarrow \text{يـد}^{+} + \text{كل}^{-}$$

وتعطى القواعد — مثل أيدروكسيد الصوديوم — أيونات الأيدروكسيل ، وهى تحمل شحنة سالبة واحدة ، فمثلا

$$\text{ص ا يد} \rightarrow \text{ص}^{+} + (\text{ا يد})^{-}$$

واستنتج الكيميائيون أن التغيرات فى لون ورق عباد الشمس ترجع إلى أيونات الأيدروجين والأيدروكسيل التى تنشأ فى المحلول . وبالرغم من أن أوراق

* عباد الشمس ورقة امتصاصية محملة فى داخلها بمركبات عضوية معينة قادرة على تغيير لونها فى المحاليل الحامضية والقاعدية . (المؤلف)

عباد الشمس قادرة على أن تبين مدى زيادة أو نقص أيونات الأيدروجين عن أيونات الأيدروكسيل الموجودة بالمحلول، فان الحاجة ما لبثت أن ألحت إلى إيجاد طريقة لتقدير كمية أيونات الأيدروجين، أى مقدار تركيزها . وكذلك تركيز أيون الأيدروكسيل .

ويمكن التعبير عن الماء العادى بالرموز الكيميائية كما يلى : (يد ا يد)، فهو يحتوى على كل من أيون الأيدروجين وأيون الأيدروكسيل بتركيز متساو ... أى أن :

يد ا يد ← يد$^{+}$ + (ا يد)$^{-}$

ولكن الماء لا يتأين بسهولة مثل الأحماض والقواعد والأملاح .

والماء النقى ضعيف جداً فى توصيل الكهرباء، مما يدل أن معدل تفككه أو تأينه طفيف إلى درجة أنه يمكن إهماله. ولكننا نستطيع استغلال تلك الحقيقة (أى التأين البطىء للماء) كأسس لتقدير درجة حامضية المحاليل المائية ودرجة قلويتها . ويمكن تنفيذ ذلك باستغلال علاقة قد اكتشف قيامها بين تركيز أيونات الهيدروجين وأيونات الأيدروكسيل . إذ إن حاصل الضرب الذى نحصل عليه بضرب القيم العددية لكلا المقدارين فى بعضهما يبقى ثابتا ، ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الآتية :

(يد)$^{+}$ × (ا يد)$^{=}$ = ك

ويعنى هذا أن حاصل ضرب التركيزين ثابت دائماً فى أى محلول مائى ، وأنه يمكن حساب تركيز أحد الأيونين من هذه العلاقة إذا ما عرفنا تركيز الأيون الآخر عن طريق التحليل الكيميائى . ففى الماء النقى مثلا ، يتساوى تركيز أيون الأيدروكسيل مع تركيز أيون الأيدروجين ، وكلاهما يساوى واحدا من عشرة مليون عند التعبير عنه بوحدات الجرام الجزيئى فى اللتر .

ومن ثم فان قيمة الثابت ك هى :

١٠٠٠٠٠٠,٠ × ١٠٠٠٠٠٠;٠ = ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠,٠

وإذا كان تركيز أيون الأيدروجين فى محلول حامض ضعيف يساوى ١٠٠٠٠,٠ فان تركيز أيون الأيدروكسيل سوف يكون ١٠٠٠٠٠٠٠٠,٠ فى حين ما إذا كان تركيز أيون الأيدروكسيل فى محلول قلوى متوسط النشاط يساوى ١٠٠٠,٠ فان تركيز

أيون الأيدروجين سوف يكون ٠,٠٠٠٠٠٠١ وحاصل ضرب التركيزين فى جميع الحالات هو ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ وهو يسمى ثابت تحلل الماء .

ومن الواضح أن قراءة أو كتابة أرقام مثل هذه تعتبر مسألة صعبة . ولكنها تكتب فى أحيان كثيرة — من أجل التسهيل — كمعاملات لقوى مناسبة للرقم عشرة . ويمكن إدراك ذلك بالنظر إلى الأرقام الواردة فى الجدول التالى ، وإلى التمثيل المبسط لها بالصيغة الأسية :

١٠٠ = ١,٠ × $١٠^{٢}$

١٠ = ١,٠ × $١٠^{١}$

١ = ١

٠,١ = ١,٠ × $١٠^{-١}$

٠,٠١ = ١,٠ × $١٠^{-٢}$

٠,٠٠١ = ١,٠ × $١٠^{-٣}$

٠,٠٠٠١ = ١,٠ × $١٠^{-٤}$

٠,٠٠٠٠١ = ١,٠ × $١٠^{-٥}$

٠,٠٠٠٠٠١ = ١,٠ × $١٠^{-٦}$

٠,٠٠٠٠٠٠١ = ١,٠ × $١٠^{-٧}$

وبناء عليه فان قيمة الثابت ك التى قررناها من قبل أى ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ يمكن كتابتها كما يلى ١ × $١٠^{-١٤}$. وكذلك يمكن التعبير عن العلاقة بين أيون الأيدروجين وأيون الأيدروكسيل فى الماء النقى كما يلى :

[$يد^{+}$] × [ا $يد^{-}$] = ك = ١ × $١٠^{-١٤}$

ومن الممكن افتراض أن الماء النقى متعادل . ومن ثم تحتوى جميع المحاليل المتعادلة على أيون الأيدروجين بنفس التركيز الذى يتواجد به فى الماء ، أى ١ × $١٠^{-٧}$. وتركيز أيون الأيدروجين فى المحلول الحامضى أعلى من تركيز أيون الأيدروكسيل : وقد تصل قيمته الفعلية فى محلول فائق الحامضية إلى حوالى ١ × $١٠^{-١}$. وفى الناحية الأخرى ، يتناقص تركيز أيون الأيدروجين فى المحاليل القلوية بالنسبة إلى تركيزه فى الماء النقى . وقد تصل قيمته إلى حوالى ١ × $١٠^{-١٤}$. وحينئذ يصبح المحلول شديد

القلوية للغاية . ويمكن استغلال نقص تركيز أيون الأيدروجين كوسيلة للتعبير عن الزيادة فى تركيز أيونات الأيدروكسيل .

ولقد وجد فى التطبيق العملى، أن تقدير تركيز أيون الأيدروجين هو الأكثر كفاية ، بصرف النظر عما إذا كان المحلول حامضياً أو متعادلا أو قلوياً .

ولكنه كان من الضرورى تبسيط طريقة صباغة تركيز أيون الأيدروجين قبل أن يتم قبوله على الاتساع .

ولقد أجرى سورنسون Sorenson أول تبسيط فى هذا الشأن عندما اقترح استعمال القيم الأسية Exponents فقط ، دون إشارتها السالبة . فمثلا (١×١٠^{-١٤}) يمكن كتابتها ١٤ . وسمى هذه الأرقام بقيم الأس الأيدروجينى . ونتيجة لهذا خرج مقياس الأس الأيدروجينى التالى إلى الوجود .

الأس الأيدروجينى

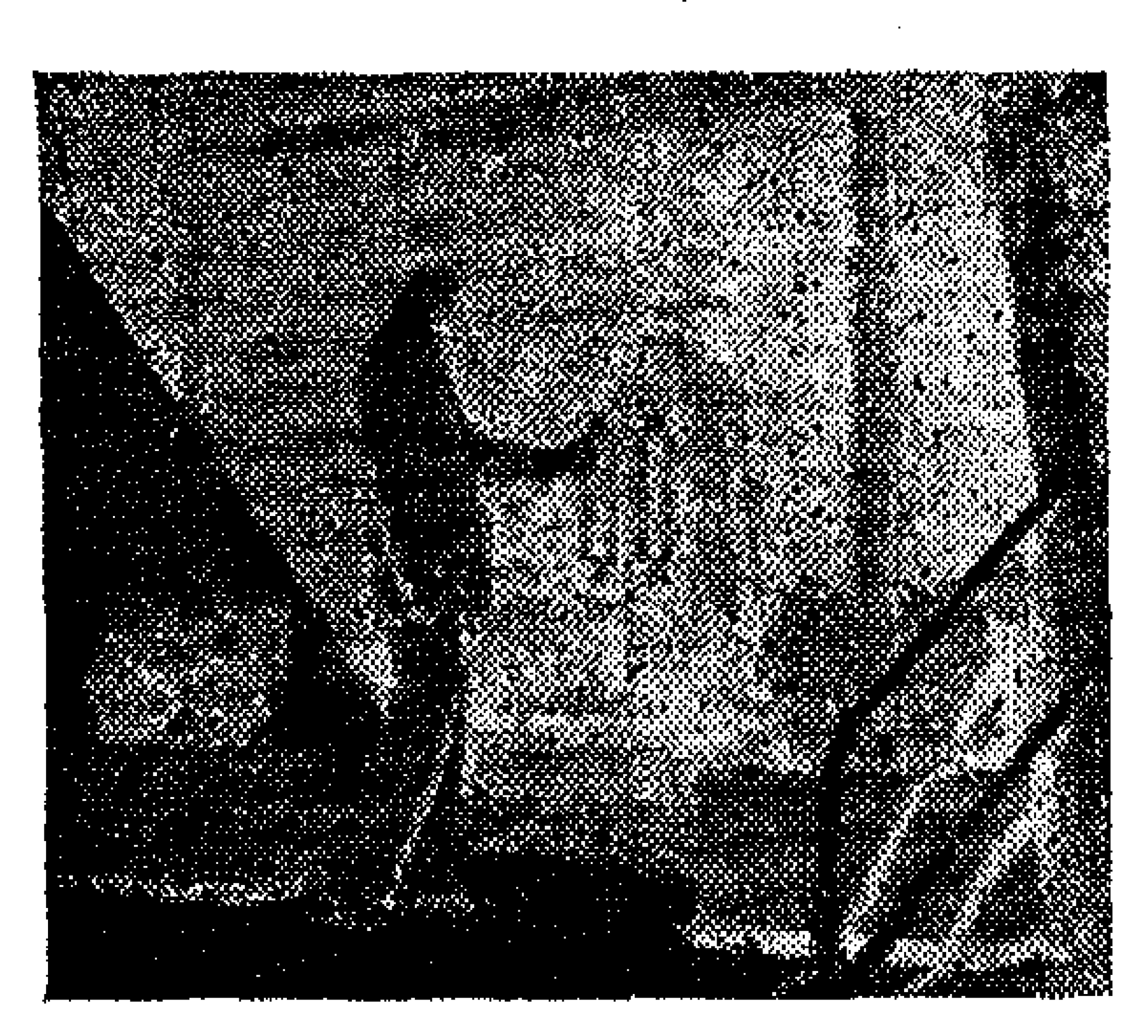
الأس الأيدروجينى	
١٤	قلوية
١٣	
١٢	
١١	
١٠	
٩	
٨	
٧	متعادل
٦	حامضية
٥	
٤	
٣	
٢	
١	

وبفضل هذا التدريج أصبح فى الإمكان استخدام الأجهزة المناسبة — مثل جهاز قياس الأس الأيدروجينى — فى تقدير عدد مرات تجاوز حامضية أو قلوية المحلول لحامضية أو قلوية الماء النقى . وحيث إن مقياس الأس الأيدروجينى يتألف من القيم الأسية المستخدمة فى التعبير عن تركيز أيون الأيدروجين ، فان القيم الحقيقية لتركيز أيون الأيدروجين الممثلة بالأرقام المتتالية على المقياس تنتسب إلى بعضها البعض بمعامل قدره عشرة . فمثلا فى المدى الحامضى ، يزداد تركيز الحامض كلما أصبحت قيمة الأس الأيدروجينى أقل . ويحتوى المحلول عند أس أيدروجينى قيمته (٥) على قدر من أيونات الأيدروجين الحرة أكبر بمقدار عشر مرات من تلك التى يحتوى عليها عند أس أيدروجينى قيمته (٦) . فى حين يحتوى محلول عند أس أيدروجينى قيمته (٤) على قدر من أيونات الأيدروجين الحرة أكبر بمقدار مائة مرة من تلك التى يحتوى عليها عند أس أيدروجينى مقداره ستة . وبنفس الطريقة يحتوى محلول عند أس أيدروجينى قيمته عشرة على قدر من أيونات الأيدروكسيل أكبر بمقدار مائة مرة من تلك التى يحتوى عليها عند أس أيدروجينى قيمته (٨) .... وهكذا .

وكما قررنا من قبل يقوم القلوى الموجود فى محلول الإظهار بالتحكم فى نشاطه أى فى المعدل الذى يتم به إظهار الصورة الفضية . وينتمى هذا التأثير أساساً إلى قيمة الأس الأيدروجينى التى نتجت فى محلول الإظهار. وتصل قيمة الأس الأيدروجينى لمحاليل الإظهار المحتوية على أيدروكسيد الصوديوم كمادة منشطة ، إلى اثنتى عشرة وهى محاليل نشيطة للغاية . أما تلك المحتوية على كربونات الصوديوم كمادة منشطة فتصل قيمة الأس أيدروجينى المميزة لها إلى حوالى ١٠,٢ ، وهى محاليل على درجة كافية من النشاط . أما تلك المحتوية على قلوى كوداك المتوازن فلها قيمة أس أيدروجينى تتراوح فيما بين ٩,٨ ، ١٠ ، وهى محاليل متوسطة النشاط . وتتراوح قيمة الأس الأيدروجينى لتلك المحاليل المحتوية على البوراكس فيما بين ٥ و ٨ و ٩ وهى بالتالى ذات نشاط منخفض ، وتحتاج إلى زمن تحميض طويل .

وتنتج الكثير من المواد التى تتأين فى المحاليل تأثيرا بافاريا (أى تأثيرا منظما للأسس الأيدروجينى) ، مما يعنى أنها تميل إلى مقاومة حدوث أى تغيير فى الأس الأيدروجينى للمحلول . وبناء عليه يمكن إضافة كميات كبيرة من القلوى أو الحامض إلى المحلول المحتوى على مادة بافاريه Buffered Solution — أى يمكن

بخفيف المحلول — مع حدوث مجرد تغيير بسيط جدا فى قيمة الأس الأيدروجينى . ويتم اختيار المواد القلوية المستعملة فى محاليل الإظهار الفوتوغرافية لتمد هذه المحاليل بالتأثير البافارى (أى بالتأثير المنظم للأس الأيدروجينى) عند مستويات الأس الأيدروجينى المطلوب توافرها . ومن الضرورى أن يحتفظ محلول الإظهار بصفاته المميزة طوال تشغيل كمية كبيرة من المواد الفوتوغرافية المعرضة الضوء به ، وإلا فانه يصبح بغير ذى فائدة عملية .




الشكل رقم (١٨)

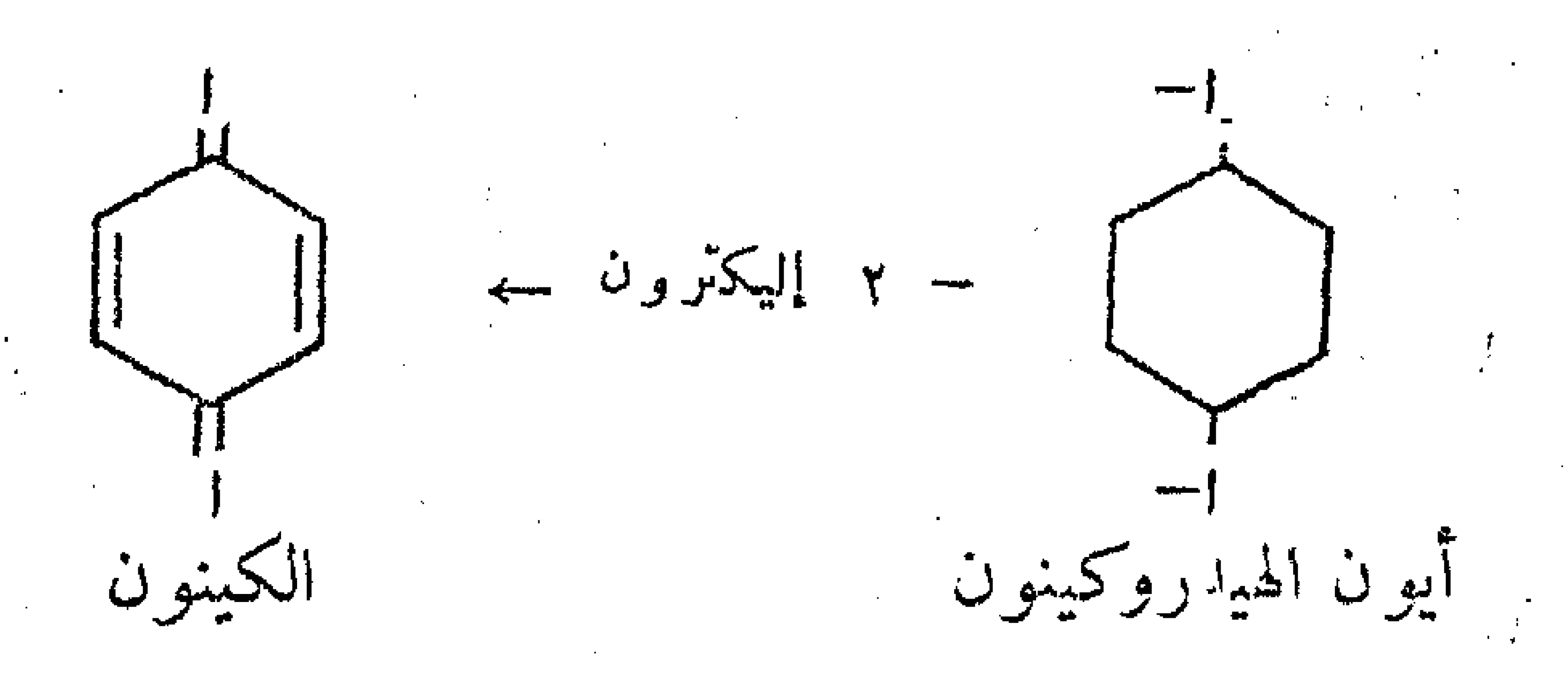
هاتين الصورتان قد استقبلتا نفس التعريض الضوئى، ثم تم إظهارهما على نفس زمن الإظهار فى محلولين من نوع كوداك د — ٧٦ مع فارق واحد ، هوأن الصورة التى إلى اليسار قد عولجت فى محلول قيمة أسه الأيدروجينى ٨٫٦ . بينما عولجت تلك التى إلى اليمين فى محلول قيمة أسه الأيدروجينى ٩٫٥ . ويلاحظ أن المحلول الأكثر نشاطاً قد أنتج زيادة فى الكثافة والتباين

المادة الحافظة :

يكتسب الماء لونا بنيا عند إذابة مادة الإظهار فيه بسبب تفكك (أو تحلل) الأخيرة بتأثير الهواء (التأكسد)، وعندما تضاف المادة القلوية إلى المحلول يزداد معدل التفكك. ولهذا تضاف إلى محاليل الإظهار مادة حافظة — هى سلفيت الصوديوم عادة — لمنع هذا التأكسد ، وبالتالى تحافظ على المحاليل رائقة .

ويتفاعل سلفيت الصوديوم مع نتائج تأكسد مادة الإظهار بنفس السرعة التى تتكون بها الأخيرة . وإذا أخذنا الهيدروكينون كمثال لمواد الإظهار ، فاننا نستطيع كتابة التفاعلات التى تتم كما يلى :

يتكون الكينون عند ما تتم إزالة الأليكترونات من أيون مادة الإظهار السالب الشحنة .



ويتفاعل الكينون مع سلفيت الصوديوم فى وجود الماء ليكون سلفونات الملح الصوديومى للهيدروكينون Sodium Hydroquinone Sulphonate– وهى عديمة اللون – بالإضافة إلى أيدروكسيد الصوديوم .

الكينون + ص٢ كب ا٣ + يد٢ ا ← (ا يد ، ص كب ا٣ ، ا يد) + ص ا يد

ويعتبر هذا تمثيلا مبسطا جدا لما يحدث حقيقة ، إذ قد تتكون مواد عضوية أخرى فى أثناء تأكسد مادة الإظهار . وتختلف هذه المواد باختلاف مادة الإظهار . ولا تؤدى أملاح السلفيت الناتجة دورا فى عملية الإظهار عامة ، ولكن بعض هذه الأملاح يعتبر مواد إظهار ضعيفة ، وبالتالى تساهم بدور فى عملية الإظهار التالية . ويستمد سلفيت الصوديوم تأثيره الحافظ من مقدرته على حماية مادة الإظهار فى المحلول القلوى من مهاجمة أكسجين الهواء الجوى له . وإذا سمحنا للكينون مثلا بالنشوء فى محلول الإظهار فانه سوف يسرع من معدل التأكسد . وتسمى المادة الكيميائية التى تزيد من سرعة التفاعل بالعامل المساعد . وتمنع السلفيت تراكم ذلك العامل المساعد .

المادة المثبتة :

يستعمل بروميد البوتاسيوم عامة فى محاليل الإظهار ليمنع تكون الضباب الكيميائى وهو عبارة عن فضة تنتج بفعل المحلول المظهر على هاليدات الفضة التى لم تستقبل تعريضا ضوئيا . وكذلك يساعد البروميد فى توفير إظهار أكثر تجانسا . وبالرغم

من أن إضافة بروميد البوتاسيوم إلى محلول الإظهار الفوتوغرافى قد يؤثر على معدل إظهار الصورة فانه فى العادة ينقص من معدل تكون الضباب بدرجة أكبر من إنقاصه لمعدل الإظهار . ويؤدى ذلك إلى توفير إظهار أكثر كفاية . والتأثير الكيميائى لبروميد البوتاسيوم معقد تماما، ولا يمكن شرحه بافاضة بدون الدراسة المسهبة للنظريات التى تم فرضها لتفسير الإظهار الفوتوغرافى . ولكنه يمكننا أن نرسم صورة تقريبية للطريق الذى يسلكه التفاعل عامة كما يلى . عندما توضع المادة الفوتوغرافية فى محلول الإظهار تتكون أيونات البروميد فى المحلول كنتيجة لتأين أو تفكك بروميد البوتاسيوم فى محلول الإظهار .

ويتم ادمصاص هذه الأيونات — أى تلك التى تكون مرتبطة مع بعضها بطريقة ما — إلى أسطح بلورات هاليدات الفضة . ويساعد وجود أيونات البروميد هذه (بر) على أسطح البلورات إلى منع المحلول المظهر من مهاجمة هاليدات الفضة التى لم تستقبل تعريضا ضوئيا . ومن ثم تساعد على الحد من تكون الضباب .

الباب الثامن

كيمياء الإظهار بالألوان

عند ما يتم اختزال هاليدات الفضة التى تعرضت للضوء إلى الفضة المعدنية أثناء تفاعل الإظهار ، تتأكسد مادة إظهار الألوان . وتتميز المركبات الناتجة عن هذا التأكسد بدرجة كبيرة من النشاط تجعل من الممكن استغلالها فى إنتاج الصور الملونة .

لوحظ منذ وقت مبكر ، فى حوالى ١٨٧٩ أن بعض مواد الإظهار تنتج على العجائن الفوتوغرافية صورا جيلاتينة متصلبة فى أثناء معالجة هذه العجائن فى المحاليل لإظهار الصورة الكامنة . وتتطابق الصورة التى تنتج على الجيلاتين مع الصورة الفضية التى يجرى إظهارها ، كما أن كثافة طبقة الجيلاتين التى تكتسب الصلابة تتناسب مع كمية الفضة التى يتم إظهارها . أما الجيلاتين الذى لم يتصلب فى المناطق الخالية من الصورة فيمكن إزالته بسهولة بصهره فى ماء دافىء تصل درجة حرارته إلى حوالى ١٢٠°ف والنتيجة هى الحصول على صورة جيلاتينية متضرسة — gelatin relief image وتسمى هذه العملية باسم الإظهار الدابغ Tanning Development . وهى عملية هامة جدا فى بعض عمليات الطبع بالألوان. وقد وجد أنه من الممكن — باستعمال العجائن الفوتوغرافية المناسبة — تكوين الصورة الجيلاتينية (أى التى تظهر على الجيلاتين) بحيث تتطابق تماما مع الصورة الفضية : وعلى كل فالمطلوب هو محاليل إظهار خاصة تحتوى على مادة إظهار ، وقلوى شديد ، وكمية قليلة فقط من سلفيت الصوديوم . وفى محاليل الإظهار الأبيض والأسود العادية مثل المحلول المظهر المسمى كوداك رقم د — ٧٢ (Kodak Developer D—72) يستعمل قلوى متوسط النشاط مثل كربونات الصوديوم

مع كمية كبيرة من سلفيت الصوديوم كمادة حافظـــة لتتحد مع المواد الخاملة التى تنتج فى أثناء تفاعل الإظهار . أما فى الإظهار الدابغ فان نتائج التأكسد يجب أن تبقى مطلقة السراح (أى تمنع من الدخول فى أى تفاعل جانبى) كى تتفاعل مع الجيلاتين. ومن ثم فانه يجب عدم استعمال السلفيت ، أو استعماله بكميات صغيرة جدا . وتستعمل المــادة القلوية النشيطة جدا لتمد المحاليل بقيم عالية للأس الأيدروجينى لزيادة سرعة تأكسد مادة الإظهار ، وزيادة التأثير المكسب للصلابة Hardening Action . وتستطيع الصورة الجيلاتينية المتضرسة أن تمتص الصبغة من محلول ما بقدر يتناسب مع كثافة الجيلاتين الموجود بها . ويمكن نقل الصبغة التى تم امتصاصها إلى مادة خاصة مستقبلة بوضع السطح المتضرس فى التصاق وثيق مع السطح المستقبل . وهذا هو أساس عملية كوداك لنقل الصبغة Kodak Dye Transfere Process المستخدمة فى عمل الطبعات الملونة على الورق .

محاليل اظهار الألوان :

يمكن الاستفادة من المواد المتأكسدة المتخلفة عن تفاعل الإظهار الأساسى بعدة طرق . فهى مثلا تستطيع تحت ظروف خاصة أن تتحد مع مركبات عضوية معينة لتنتج صبغات ملونة .

وتتكون الصبغات كنتيجة لتفاعل يتم فيه اقتران نتائج تأكسد مادة الإظهار مع مواد خاصة لتكوين الصبغات تسمى المقرنات Couplers ، وتضاف هذه المواد إلى النظام المستخدم . ولحسن الحظ أنه يمكن تبسيط الطرق العملية للإظهار بالألوان باستعمال مادة إظهار واحدة مع مقرنات ألوان مختلفة لتكوين صبغات بالألوان المختلفة المطلوبة . ويعتمد لون الصبغة التى تتكون فى أثناء إظهار الألوان على البناء الكيميائى لمقرن اللون . ويكفى فى هذه المناقشة أن نقرر أن جزءا من جزىء Molecule مقرن اللون هو الذى يكون اللون ، وهو كذلك الذى يحدد لون الصبغة الناتجة ، بينما يؤثر الجزء الباقى من الجزىء على ذوبان مقرن اللون ، وعلى مقدرته على الانتشار داخل طبقة العجينة الفوتوغرافية ، أى قدرته على تخللها. وكلتا المادتين — أى مقرن اللون ومادة الإظهار — تؤثران على ذوبان الصبغة المتكونة ، وعلى

ثباتها . و يمكن توضيح هذا التفاعل باستعمال ثنائى ميثيل البارافينيلين الثنائى الأمين . Dimethyl-Para-Phenylene Diamire كمادة إظهار ، ومادة الألفا نافثول كمقرن للون الأزرق .

بارافينيلين ثنائى الميثيل ثنائى الآمين

ألفانافثول

صبغة الاندو فيثول الزرقاء

اختبار مقرنات الألوان :

فى أى مجموعة من مقرنات الصبغات، مثل تلك التى تنتج الصبغات الزرقاء أو الزرقاء المخضرة (السيان)، يمكن أن تؤدى التغيرات البسيطة فى بناء جزىء مقرن اللون إلى حدوث تغيير فى اللون. فمثلا إذا أضفنا الكلور إلى جزىء مقرن الألفانافثول، فان المادة الناتجة تعطى لونا أزرق مختلفا — عن اللون الأزرق الذى حصلنا عليه فى التفاعل الممثل بالمعادلة السابقة —عندما تتفاعل مع ناتج تأكسد مادة الإظهار. ويمكن تمثيل هذين المقرنين بالمعادلتين التاليتين .

ألفانافثول

كلور ألفانافثول

ويتوقف امتصاص محاليل الصبغات لأطوال موجات الضوء المختلفة على لون الصبغة . ويتخذ قياس هذا الامتصاص كبيان للفروق فى ألوان الصبغات . ويقع

الحد الأقصى لامتصاص الصبغات المكونة للصور على الأفلام الملونة التى تحتوى على مقرنى الألوان : الألفانافثول والكلورو الفانافثول ، عندأطوال الموجات ٦٣٠ ملليميكرون ٦٥٤ ملليميكرون علىالترتيب . ومن الممكن نظريا أن ننتج أى لون نرغب فيه عن طريقالاختيار السليم لمقرناللون. وهذه حقيقة هامة جدا فى التصوير الفوتوغرافى بالألوان لأنها تجعل من الممكن انتخاب أفضل مجموعات الصبغات الصفراء والماجنتا والسيان اللازمة لإنتاج صور جيدة الألوان .

وفى عمليات الإظهار بالألوان ، تتكون الفضة (فى عجينة فوتوغرافية معينة) بكميةتتناسب مع التعريض الذىقد استقبلته هاليدات الفضة . وفى نفس الوقت تتفاعل نتائج تأكسد مادة إظهار الألوان مع مقرن اللون منتجةصورا ملونة تحمل علاقة تناسبية بينها وبين الصورة الفضية . ومن ثم يؤدىإظهار الألوان إلىالحصول علىصورتين إحداهما من الفضة والثانية من الصبغات. وتتناسب كميتا الفضةوالصبغة فى الصورتين مع التعريضالضوئى الأصلى الذى قد استقبلته العجينة الفوتوغرافية التى نشأت عليها الصورة .

وبذلك تشتمل الشروط الضرورية اللازم توافرها لقيام نظام عملى للإظهار بالألوان على : تكوين صبغة غير قابلة للذوبان وقادرة علىالبقاء علىالفيلم ، اختيار مقرنات الألوان اللازمة لإنتاج اللون المناسب ، صبغات على درجة كافية من الثبات لمقاومة الخفوت أو البهتان بمرور الوقت ، ومواد إظهار ليست ذات مفعول سام قوى ولقد وفرت الأبحاث مركبات تفى بهذه المستلزمات بدرجة تناسب جميع الأغراض العملية . وتنقسم عمليات الإظهار بالألوان عامة إلى نوعين ، يتميزان عن بعضهما البعض من حيث استخدام مقرنات الألوان ، وهما :

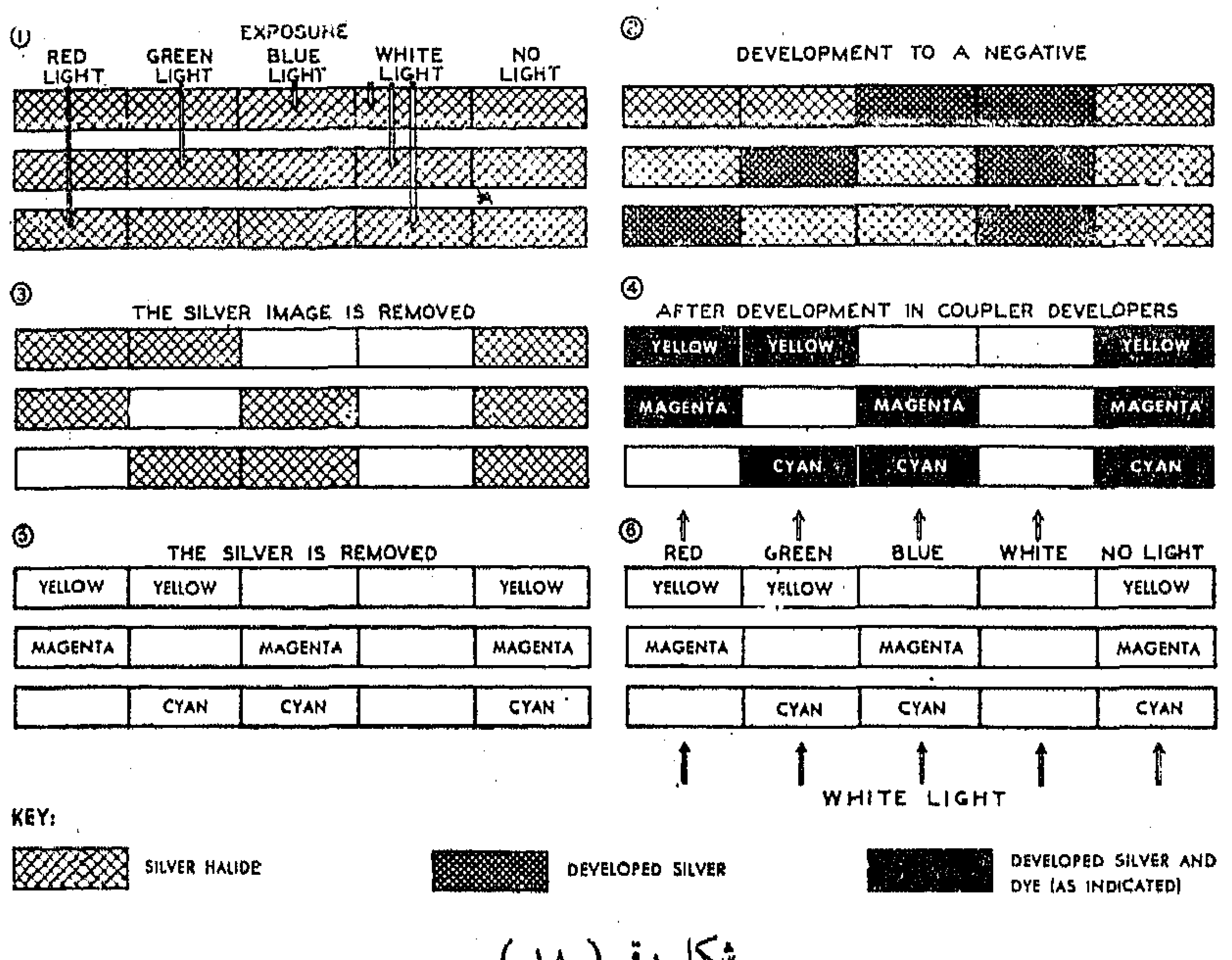
(ا) العمليات التى تستوجب إضافة مقرنات الألوان إلى محاليل إظهار الألوان .

(ب) العمليات التى تقتضى غرس مكونات الألوان بين ثنايا طبقات العجينة الفوتوغرافية. وعملية الكوداكروم هى أولى العمليات العكسية الثلاثية الألوان والمقرنة للصبغات التى حققت نجاحا تجارياً . وهى تتألف أساساً من ثلاث طبقات منفصلةمن العجينةالفوتوغرافية. وتحتوىجميعها علىهاليدات الفضة،ولكن كل طبقة قد عولجت

لاكسابها حساسية مختلفة تجعلها أثناء التعريض قادرة على الاستجابة لجزء معين من الحزمة الضوئية المرئية . وتنشأ كل صبغة من هذه الصبغات الثلاث ذات الألوان المكملة – أى ذات الألوان الصفراء والماجنتا والسيان – فى الطبقة المخصصة لها نتيجة لمعالجة الفيلم فى ثلاثة محاليل إظهار امتتالية ، يمرفيها على التوالى ، ويحتوى كل منها على مادة الإظهار ومقرن للون المناسبين . ويعنى هذا أن التفاعلات الكيميائية الخاصة بكل محلول من محاليل إظهار الألوان يجب أن تقتصر على طبقة واحدة فقط .

ولكن الأبحاث العلمية قد أثبتت إمكانية غرس مكونات الألوان المناسبة فى كل طبقة من طبقات المستحلب الفوتوغرافى ، أثناء تصنيع المواد الفوتوغرافية ، وقد أدى هذا إلى تبسيط عمليات التشغيل . ولقد أصبحت جزئيات مقرن اللون أكبر وأكثر تعقيدا بحيث لا تستطيع أن تغادر الموضع المحدد لها فى طبقة المستحلب . ولكن مقدرتها على التفاعل مع نواتج تأكسد مادة إظهار الألوان بقيت كما هى ولم تمس . والفيلم كوداك اكتاكروم أحد المواد الفوتوغرافية الملونة التى تنتمى إلى هذا النوع . وعدد خطوات عملية تشغيل هذا الفيلم أقل من تلك التى تشتمل عليها عملية تشغيل

خطوات عملية تشغيل الفيلم الكوداكروم



شكل رقم (١٨)
عملية الكوداكروم

الكوداكروم ، لأن الأول يحتاج إلى مادة إظهار ألوان واحدة فقط . وتتفاعل مادة الإظهار مع مقرن الصبغة فى كل طبقة من طبقات المستحلب بقدر يتناسب مع الصورة الفضية المتكونة فى هذه الطبقة . وقد ترتب على هذا التبسيط لعملية إظهار الألوان إمكان قيام المصور الفوتوغرافى بمفرده ، أو المعامل التجارية بتشغيل الأفلام الملونة التى يستخدمونها .

تركيب محاليل اظهار الألوان :

إن محاليل الإظهار بالألوان عامة تشبه محاليل الإظهار بالأبيض والأسود العادية فى احتوائها على نفس المكونات الأساسية وهى : مادة الإظهار ، المادة المنشطة ، المادة الحافظة والمادة المثبطة ، ولكن نسب هذه المكونات المتنوعة تختلف تماما فيما بين الحالتين . وبعض هذه المكونات كمواد الإظهار بالألوان مثلا ، عبارة عن مركبات أكثر تعقيدا من مواد الإظهار بالأبيض والأسود . وكذلك تحتوى محاليل الإظهار بالألوان عادة على مكونات خاصة إضافية ، حتى ولو كان مقرن الصبغات مغروسا فى العجينة الفوتوغرافية .

ويمكن تبسيط ذلك بمقارنة تركيبة محلول الإظهار بالأبيض والأسود النموذجية المنشورة فى صفحة ٥٠ (محلول الإظهار كوداك د — ٧٢ Developer D-72) والمحلول النموذجى للإظهار بالألوان الموضح أدناه ، والذى يستعمل مع مقرنات ألوان مغروسة فى العجينة الفوتوغرافية .

محلول اظهار الألوان (كوداك س د — ٣٠) :

Color Developer Kodak (SD-30)

الماء (تتراوح درجة الحرارة فيما بين ٢١°م ، ٢٧°م)		لتر واحد
كحول البنزيل (مع التقليب لمدة خمس دقائق للتأكد من تمام امتزاجه بالماء)	٦	سم٣
سداسى ميتافوسفات الصوديوم (أى الكالجون)	٢	جم
سلفيت الصوديوم المجفف	٥	جم
ثلاثى فوسفات الصوديوم (به ١٢ جزىء من ماء التبلر)	٤٠	جم
بروميد البوتاسيوم	٠,٢٥	جم

محلول أيوديد البوتاسيوم قوته ١ ٪	١٠ سم٣
أيدروكسيد الصوديوم	٦,٥ جم
مادة إظهار الألوان كوداك (C D3)(١)	١١,٣٢ جم
كبريتات الايثيلين ديامين	٧,٨ جم
حامض السترازينيك(٢)	١,٥ جم

مادة الاظهار :

يحتاج تشغيل الأفلام الملونة إلى مواد إظهار خاصة لتقترن نواتج تأكسدها مع مقرنات (أو مكونات) الألوان المغروسة فى العجينة الفوتوغرافية مكونة صورا من الصبغات .

وهى غالبا ما تحتاج إلى منشط إضافى علاوة على المادة القلوية المنشطة التى تحتوى عليها التركيبة. ولهذا الغرض يضاف كحول البنزيل إلى تركيبة التحضير . وهو عبارة عن مذيب عضوى . ومن المحتمل أن هذه الصفة تجعله قادراً على الإسراع بمعدل إنشار مادة إظهار الألوان داخل الطبقات المختلفة على المادة الفوتوغرافية الملونة . ويجب التحكم فى درجة تركيزه بعناية لأن الكميات الكثيرة جدا أو القليلة جدا منه (أى من كحول البنزيل) تستطيع أن تؤثر على صفات قياسات الحساسية المميزة للصورة . كما تستعمل أيضا بعضا من مذيبات هاليدات الفضة مثل كبريتات الايثلين ديامين .

المـادة المنشطة :

هناك مادتان قلويتان تستعملان بغرض تنشيط محلول إظهار الألوان . وهاتان المادتان هما ثلاثى فوسفات الصوديوم وأيدروكسيد الصوديوم . وهما أكثر قاوية من كربونات الصوديوم . وهناك هدفان من استعمالها ، الأول هو تزويد المحلول المظهر بقيمة أس أيدروجينى عالية . والثانى هو تنظيم التغيرات فى قيمة الأس الأيدروجينى للمحلول كى تزيد من مقدرته على معادلة نتائج تفاعل الإظهار الحامضية ، ولتأكيد ذوبان مادة الإظهار أيضا .

---

(١) الاسم الكيميائى للمركب CD3 ــ هو :
4-amino-N-ethyl-N- (β methanesulfon amidoethyl)-m-toluidine sesquisulfate monohy drate

(٢) الاسم الكيميائى لحامض السترازينيك ــ Citrazinic Acid ــ هو :
(2, 6-Dihydroxy-isonoctonicacid

المـادة الحافظة :

بالرغم من أن المادة الحافظة المستخدمة فى تحضير محاليل الإظهار بالألوان هى نفس المادة المستعملة فى تحضير محاليل الإظهار بالأبيض والأسود — أى سلفيت الصوديوم — فانها تستعمل بتركيز أقل بكثير من الذى تستعمل به فى الأخيرة . ففى الإظهار بالألوان يجب أن تظل نتائج تأكسد مادة إظهار الألوان حرة طليقة لتتفاعل مع مقرن اللون منتجة الصبغة . ويؤدى استعمال تركيز مرتفع من السلفيت إلى الحد من ذلك الاقتران . ومن ناحية أخرى يجب أن يحتوى المحلول على بعض من المادة الحافظة للحد من التأكسد الجوى وليتفاعل مع نتائج التأكسد ولمنع حدوث البقع على الفيلم المشغول .

المادة المثبطة :

ويستعمل بروميد البوتاسيوم كمادة مثبطة ، ولكن بتركيز منخفض إلى درجة كبيرة بالإضافة إلى النسب الصحيحة من أيوديد البوتاسيوم .

المقرن المساعد :

من الصعب فى أغلب عمليات الألوان ، توفير قدر طيب من التحكم فى التباين . وفى العادة يؤثر ضبط تركيز المكونات الأخرى ، مثل المادة المنشطة ، ومادة الإظهار الخ ، على سرعة العجينة الفوتوغرافية أى على مدى استجابتها . ولذلك ، يضاف مركب خاص مثل حامض السترازينك إلى محلول الإظهار بالألوان ، ليتفاعل مع بعض نتائج تأكسد مادة إظهار الألوان منتجا مركبات عديمة اللون . وبهذه الكيفية يصبح فى الإمكان التحكم فى العلاقة بين كمية الفضة وكمية الصبغة التى تتكون فى الصورة . وبالتالى يسهل التحكم فى تباين الصورة الملونة .

الباب التاسع

قيـــاس الإظهـــار

لقد ناقشنا محاليل الإظهار من حيث فعل وتركيب محاليل الإظهار ، وعمليات تحضيرها ، وكيمياء عملية الإظهار . ولقياس درجة الإظهار أهمية كبيرة فى الاستغلال العملى لمحاليل الإظهار . ومن ثم أفردنا لها هذا الباب .

حتى نستطيع أن نتفهم الدور الواضح لكل عامل من العوامل المختلفة التى تؤثر على عملية الإظهار ، يجب أن تتوافر لدينا بعض الوسائل الممكن استخدامها فى قياس الصورة الفضية التى تكونت أثناء الإظهار .

وقياس تأثيرات الإظهار جزء من علم قياس الحساسية . ومنذ وقت مبكر درس هيرتر Hurter ودريفيلدDriffeild فى عام ١٨٩٠ العلاقة بين التعريض وكمية الفضة المتكونة أثناء الإظهار .

فقد سمحا للضوء بالنفاذ عبر صورة من الفضة، ثم استعملا قياس جزء من الضوء النافذ خلالها، كدليل على كمية الفضة المتكونة فى الصورة . ويسمى ذلك الجزء الذى يعبر عنه كنسبة مئوية الشفافية . ولكن الشفافية تتناقص كلما ازداد اسوداد الصورة ، أى كلما ازدادت كمية الفضة التى تحتوى عليها الصورة . ويصبح الفهم أكثر وضوحا إذا استعملنا اصطلاح « الأعتام » وهو مقلوب الشفافية — وبالتالى يزداد بزيادة كمية الفضة — بدلا من الشفافية نفسها .

وقد وجد هيرتر ودريفيلد أن الأمر يصبح — لعدة أسباب — ذا دلالة أكبر باستعمال القيمة اللوغاريتمية لكل من الأعتام والكثافة بدلا من القيمة الحسابية

(الرياضة) لها . وأحد هذه الأسباب هو أن العين البشرية تحكم على الفوارق بين الدرجات اللونية — أى فروق التألق — باصطلاحات لوغاريتمية . ومن الأسباب الأخرى أن كمية الفضة الموجودة فى الصورة تتناسب تناسبا طرديا فى الغالب مع الكثافة بالنسبة لأى نوع من المستحلبات . وذلك بسبب الطريقة التى تمتص الصورة بها الضوء أى الطريقة التى توقفه بها عن النفاذ خلالها .

ويمكن التعبير عن هذه الاصطلاحات رياضيا كما يلى :

$$\text{الشفافية} = \frac{\text{كمية الضوء الساقط على الصورة}}{\text{كمية الضوء النافذ عبر الصورة}}$$

$$\text{الاعتام} = \frac{١}{\text{الانفاذ}} = \frac{\text{كمية الضوء النافذ عبر الصورة}}{\text{كمية الضوء الساقط على الصورة}}$$

الكثافة = لوغاريتم الأعتام .

ومن البديهى أن الصورة تنتج عن إظهار هاليدات الفضة التى قد تعرضت للضوء . والتعريض الضوئى (ت) هو حاصل ضرب شدة الاستضاءة (ش) والزمن الذى دام خلاله التعريض الضوئى (ز) ، أى أن

ت = ش × ز

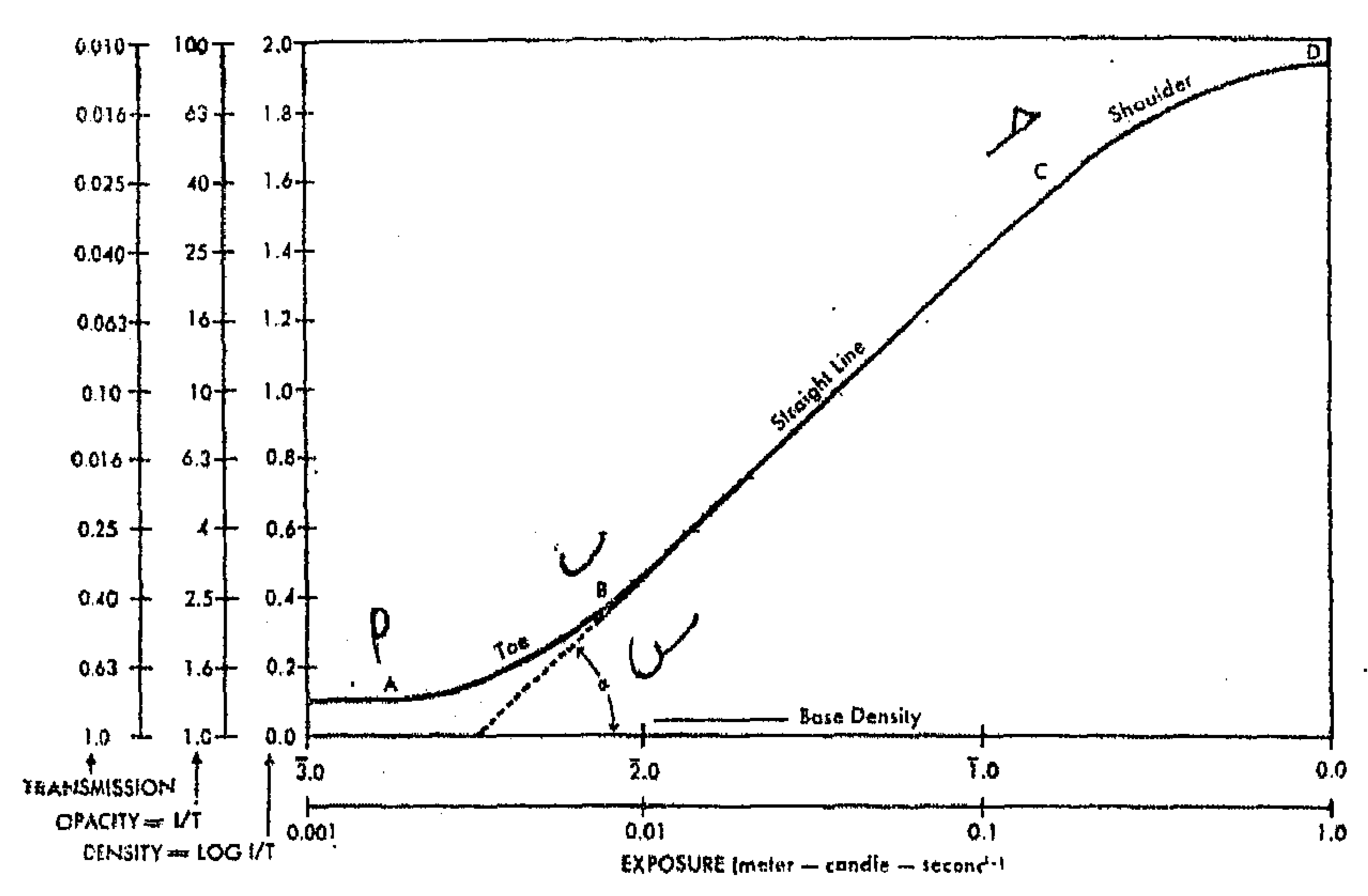
وعند ترجمة ذلك بالنسبة لنواحى استخدام آلات التصوير ، نجد أنه يتم التحكم فى الاستضاءة التى يستقبلها الفيلم بواسطة فتحة العدسة التى يحددها تألق (نصوع) الموضوع المصور . بينما يتم التحكم فى زمن التعريض بواسطة سرعة الغالق . ويعبر عن التعريض عادة بالاصطلاحات اللوغاريتمية فنقول لوغاريتم التعريض أو لو (ت).

ولا يرجع السبب فى اتباع هذا النظام إلى مجرد كونه ملائما لرسم المنحنيات حيث يتم التعبير عن كل من تدريجى الكثافة والتعريض الضوئى بنفس الكيفية ، بل إن هناك أيضا عدداً من الاعتبارات النظرية والعملية الأخرى التى أدت إلى تفضيل استعماله .

ولقد رصد هيرتر ودريفيلد قيم الكثافة ولوغاريتم الأعتام على ورقة رسم بيانى. وحصلا على منحنى بيانى أطلق عليه اسم منحنى هيرتر ودريفيلد، أو المنحنى البيانى المميز كما هو مبين فى الشكل رقم (١٩) . وهو يميز المواد الفوتوغرافية التى قد عولجت

لإكسابها حساسية الضوء . ويوضح هذا المنحنى البسيط الذى له شكل حرف (S) العلاقة بين التعريضات الضوئية المتزايدة وقيم الكثافة المتزايدة التى تنشأ تحت ظروف إظهار معينة .

وهناك بعض الاصطلاحات المستعملة فى التصوير الفوتوغرافى لوصف المعلومات التى نحصل عليها من المنحنى البيانى المميز يجب أن يألفها القارئ . فالمنحنى البيانى يتألف من ثلاثة أجزاء ، هى على الترتيب « منطقة القدم » وهى ذلك الجزء الواقع بين أ ، ب فى الشكل رقم ، (١٩) . «ومنطقة الكتف » وهى ذلك الجزء المحصور بين ج ، د . ومنطقة « الخط المستقيم » — وهى الواقعة بين ب ، ج . ويصل الميل أو التدرج إلى أعلى قيمة فى منطقة الخط المستقيم من المنحنى البيانى المميز فى حين يقل فى كل من منطقتى القدم والكتف .



شكل رقم (١٩)
المنحنى البيانى المميز

ويشير ميل منطقة الخط المستقيم إلى التباين الذى سببه الإظهار على المواد السالبة أو الموجبة ممثلا بواسطة المنحنى البيانى المميز ، فى حين تشير قيم الميل المتغيرة فى منطقتى القدم والكتف إلى مقدار الضغط المحتمل حدوثه فى الدرجات اللونية بمساحات الظلال والإضاءة العالية . ويتسع مدى الدرجات اللونية التى يمكن الحصول عليها ، كلما كان التغيير فى مقدار الميل تدريجيا (أو بطيئا)

ويمكن قياس ميل منطقة الخط المستقيم بسهولة . وتسمى القيمة الناتجة بالجاما ، وهي دالة Function للزاوية « س » المحصورة بين محور لوغاريتم التعريض على الرسم البياني ومنطقة الخط المستقيم بالمنحنى البياني المميز شكل رقم (١٩) . ومن ثم تمدنا قيمة الجاما بوسيلة ملائمة لقياس أو وصف درجة إظهار الصورة (أي الدرجة التي تم إظهار الصورة إليها) . وهي أحد العوامل الهامة المتعلقة بتباين الصورة .

علم قياس الحساسية Sensitometry :

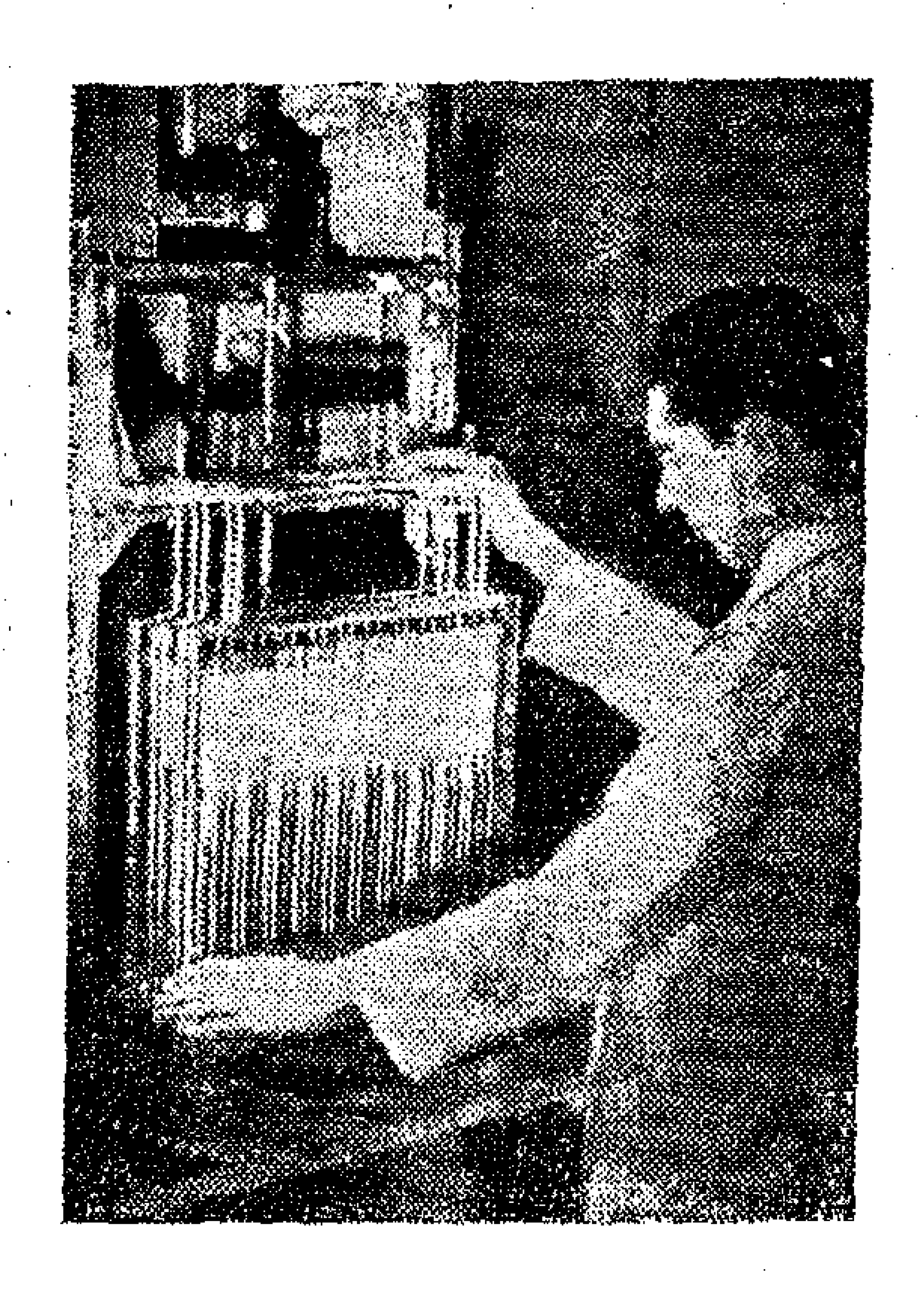
أن الأعمال التي قام بها هيرتر ودريفيلد ما زالت حتى الآن بمثابة الأساس الذي قامت عليه عمليات اختبار المواد الفوتوغرافية سواء أثناء التصنيع أو بعده . وكذلك الاختبارات التي تجرى لمراقبة عملية التشغيل ، وهكذا .

ومن أجل أن تصبح هذه الاختبارات مفيدة وعملية فانه يجب أن يكون في الإمكان إعادة الحصول على المنحنيات البيانية المميزة (لأي مادة فوتوغرافية بدقة تامة) من وقت لآخر . ويستلزم ذلك توافر جسم قياسي لاستخدامه في عمل هذه الاختبارات ، وآلة خاصة تمدنا بظروف تعريض وإظهار وتثبيت وغسيل يمكن إعادة الحصول أو بعبارة أخرى يجب أن تتوافر ظروف تعريض وظروف تشغيل عليها . يمكن إعادة الحصول عليها . ويلزمنا بالإضافة إلى هذا وسيلة لقياس الكثافة الفوتوغرافية على المادة الفوتوغرافية المشغولة . وقد أمكن الوفاء بهذه المستلزمات في خلال السنوات الحديثة ، وبهذا أصبحت قياسات الحساسية حقيقة نافعة ومفيدة .

جسم الاختبار :

وهو في العادة شريحة مستطيلة مدرجة Step Tablet تتكون من مجموعة من الكثافات قد تم اختيارها بحيث تكون قيمة الكثافة على الخطوة التالية أكبر من تلك التي على السابقة لها بمقدار معين . وهناك أنواع كثيرة من الأقراص المتدرجة يمكن استعمالها في هذا الغرض . ولكنه من المحتمل أن أكثرها شيوعا في الاستعمال هو ذلك المبين في الصفحة رقم ٨٩ . وهو يتكون من واحدة وعشرين درجة . ويصل مقدار الزيادة في قيم الكثافة من خطوة إلى التي تليها إلى ١٥ر٠

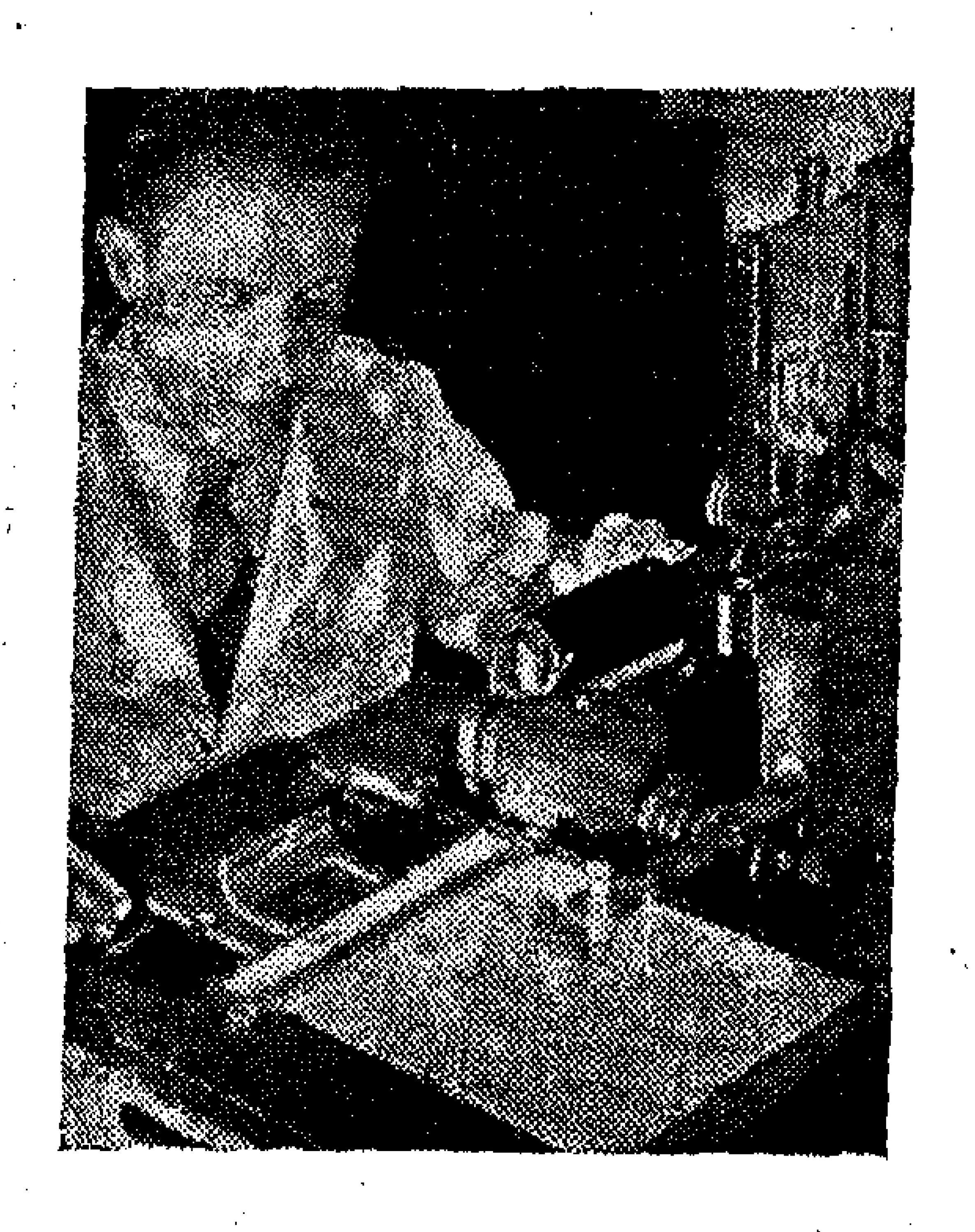
اختبارات قياسات الحساسية للمواد الفوتوغرافية أثناء التصنيع



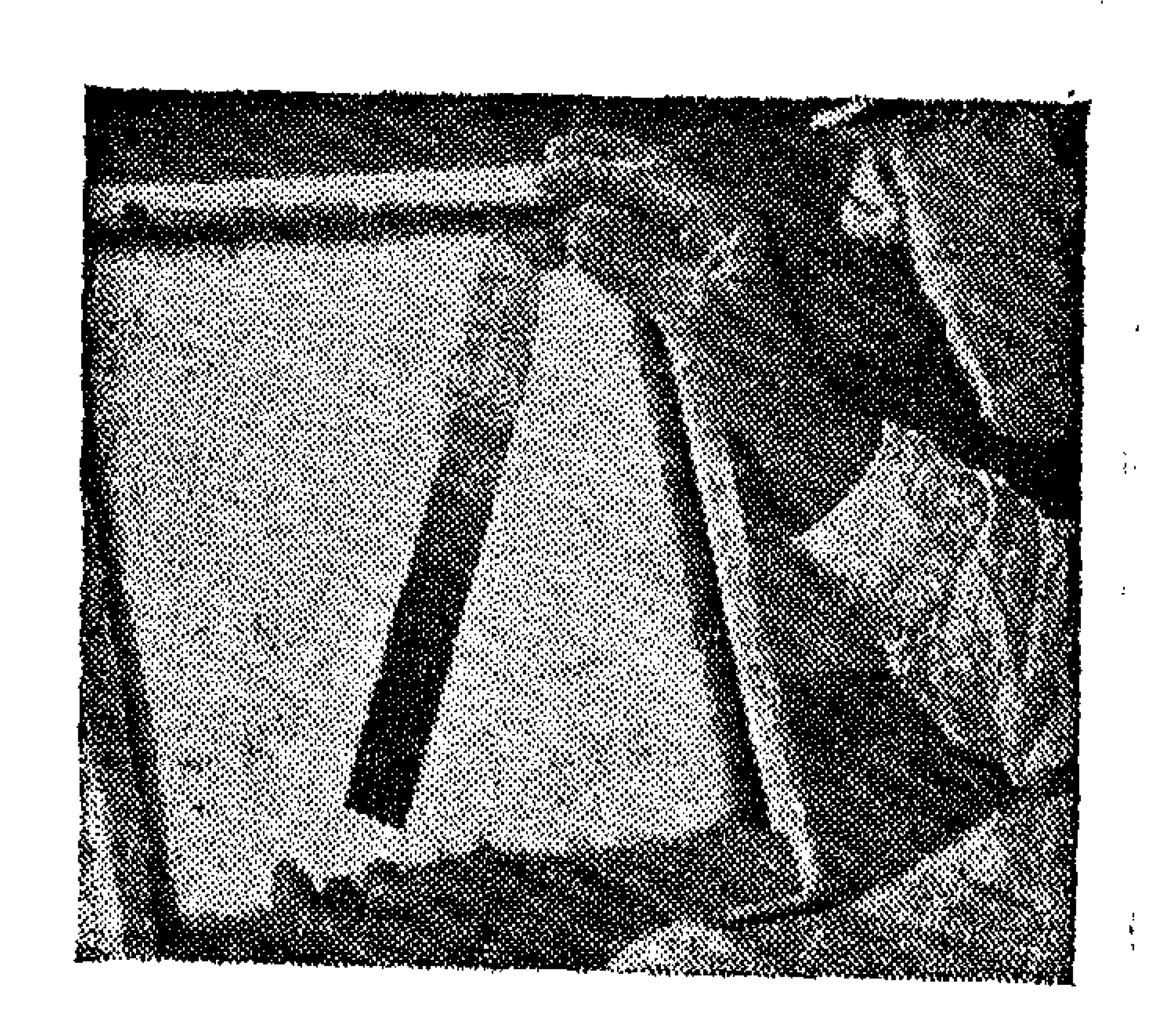
شكل رقم (٢١)
تلقى شرائح الاختبارات تقليباً ميكانيكياً موحداً أثناء التشغيل



الشكل رقم (٢٠)
يتم تعريض شرائح اختبارات المواد الفوتوغرافية فى جهاز كالمبين فى الشكل



الشكل رقم (٢٣)
يقوم جهاز الكثافة بقياس وتسجيل درجات الكثافة الفوتوغرافية التى نشأت على شريحة الاختبار



الشكل رقم (٢٢)
شريحة الاختبار المشغولة (أى التى تم اظهارها وتثبيتها وغسيلها)

جهاز تعريض شرائح اختبار الحساسية

وهو عبارة عن وسيلة تعريض مدرجة بعناية تحتوى على مصباح تعريض يتم تشغيله تحت ظروف تسمح باعادة الحصول على نفس الخرج الضوئى ، Light out put ، أى نفس شدة الإضاءة ، من اختبار إلى آخر . وللشريحة المتدرجة أو أى جسم آخر موضع محدد داخل الجهاز بالنسبة للمصدر الضوئى ، ومن ثم يسمح باعادة توجيه نفس الإضاءة بدقة على العينة المراد اختبارها فى كل مرة . ويتم تدريج الوحدة أو ضبطها بواسطة وسائل مناسبة فى كل مرة إذا رغبنا. ويتم تصميم الأجزاء الميكانيكية بحيث يمكن تكرار التعريض الضوئى الذى يستقبله لوح أو فيلم أو ورقة فوتوغرافية .

التشـــغيل :

يجب أن تتوافر إمكانية تكرر تلك الدورة من العمليات بدقة ، وبالذات فيما يختص بالإظهار . ومن المهم أن نراقب تركيب محاليل التشغيل وزمن معالجة الفيلم فيها ، ودرجة حرارتها ، ومقدار التقليب المتاح لها أثناء وجود الفيلم فيها . وبالنسبة للاختبارات الروتينية للمواد الفوتوغرافية يتم تحضير محاليل الإظهار والتثبيت بحجوم كبيرة ، وبذلك يبقى نفس المحلول متاحا للاستعمال فترة زمنية غير قصيرة ، فنضمن عدم الاضطرار إلى تحضير محلول جديد بسرعة . ومن ثم نتحاشى التأثير الناتج عن تغير تركيب محاليل التشغيل . وفى عمليات اختبارات الحساسية التى تتم على نطاق متسع جدا ، يصل حجم محاليل التشغيل التى يتم تحضيرها وتخزينها فى المرة الواحدة إلى خمسمائة جالون . وبالرغم من ضخامة هذا الحجم فانه ليس بالأمر غير العادى بالنسبة لمقتضيات العمل . وتوضع أحواض التخزين عادة على مستوى أعلى من مستوى آلات التحميض ، حتى تستطيع المحاليل أن تسرى من أحواض التخزين إلى آلات التحميض بفعل الجاذبية الأرضية ، عندما يسمح لها بالسريان إليها .

وحيث إنه من الصعب ضبط وتصحيح درجات حرارة المحاليل قبل كل اختبار فان العادة قد جرت على حفظ أحواض التشغيل ، (التى تحتوى عليها آلات التحميض) مغمورة فى حمامات مائية ضبطت درجة حرارتها عند

٦٨ درجة فهرنهيته، وهى درجة الحرارة التى اعتبرتها الهيئة الأمريكية للمواصفات القياسية درجة قياسية للتشغيل .

ويعتبر التقليب أكثر العوامل صعوبة من حيث مراقبته والتحكم فيه . إذ تستطيع المواد الناتجة عن تأكسد مادة الإظهار والهاليدات القلوية التى تتكون أثناء تفاعل الإظهار أن تحد من فعل الإظهار . ومن الوجهة العامة ، سوف تتجمع هذه المخلفات عند سطح العجينة الفوتوغرافية وفى داخلها إذا لم يتوافر التقليب ، ومن ثم تبطء من معدله . ولهذا يجب أن يظل التقليب متماثلا ؛ وعلى درجةمن القوة تكفى لازالة مخلفات الإظهاروتسمح للمحلول المظهر الطازج بالوصول إلى طبقة العجبنة الفوتوغرافية بصفة مستمرة طوال زمن الاظهار . والغسيل الكافى مطلوب أيضا فى حمامات شطف الفيلم برذاذ الماء قبل التثبيت وبعده .

وبناء عليه، قد تم تصميم وسائل خاصة للقليب تستطيع القيام بهذه المهمةالصعبة. ويتألف أحد الأنظمة المستخدمة فى تشغيل اختبارات قياسات الحساسية فى الوقت الحالى من عدة شفرات معدنية رأسية متحركة، موضوعه على زاويا قائمة تقريبا بحيث تكون قريبة جدا من سطح العجينة الفوتوغرافية . وتنغمر هذه الشفرات وعينات الاختبار تماما فى المحلول . وعند التشغيل تتحرك الشفرات أوتوماتيكيا من ناحية إلى الأخرى . وتمسح هذه الشفرات فى حركتها سطح العجينة الفوتوغرافية مكتسحة محاليل الاظهار الجزئية الانهاك بعيدا عن سطح الفيلم لتأتى بمحاليل طازجة فى ملامسته .وتضبطسرعةهذه العملية لتوفيرظروفاظهار متماثلة.

جهاز قياس الكثافة :

وهو آلة ضوئية مصممة لتقيس بدقة الكثافة الضوئية للصورة الفوتوغرافية التى قد تم اظهارها . وفى عمليات قياس الحساسية الروتينية يستعمل هذا الجهاز أساسا لقياس كثافة الشرائح المتدرجة القياسية . والتى تعتبر بمثابة صورة مطبوعة لشريحة الاختبار . ويمكن استعماله فى التصوير الفوتوغرافى العملى لقياس درجات الكثافة على الأفلام السالبة فى تلك التطبيقات التى تقتضى مراقبة دقيقة لعمليات التشغيل .

أهمية علم قياس الحساسية :

لقد تأكدت أهمية توافر ظروف التعريض والتشغيل الخاضعة للتحكم والمراقبة منذ سنوات كثيرة. وبالرغم من ذلك كان من الصعب أن يتم تحديد دقيق للتأثيرات الحقيقية لكل عامل من العوامل المعنية. وبفضل تطور الفنيات الصناعية Techniques المذكورة آنفا أصبح ذلك ممكنا . فمثلا يمكن تحت ظروف الاختبار الخاضعة للتحكم والمراقبة أن يتغير أحد العوامل ، وليكن نوع العجينة الفوتوغرافية مثلا . ولكن بقاء كل العوامل الأخرى خاضعة للمراقبة بحيث يمكن إعادة توفيرها ، يجعلنا قادرين على دراسة الصفات المميزة للعجينة الفوتوغرافية الجديدة عن طريق مقارنتها بالصفات المميزة المعروفة لأى عجينة أخرى يتم تشغيلها تحت نفس الظروف ، وفى عملية واحدة . ويمكن اتباع نفس الطريقة فى دراسة تأثير الحرارة والتقليب والتركيب الكيميائى لمحلول الإظهار ، كل على حدة ، ما دامت جميع العوامل الأخرى باقية تحت ظروف قياسية .

ويمكن الاستعانة بمثال أو اثنان على توضيح فائدة مراقبة عمليات التشغيل الفوتوغرافى بواسطة قياسات الحساسية. ويتعلق المثال الأول بصناعة السينما التى تقتضى تشغيل مئات الألوف من الأفلام السينمائية فى ظروف تكفل الحصول على نفس الصفات الفوتوغرافية المميزة على طول الفيلم بأكمله . وبفضل عمليات المراقبة الفوتوغرافية يمكن قصر التغيير فى الصفات الفوتوغرافية داخل حدود ضيقة للغاية . وتتناول المراقبة النواحى الآتية : التركيب الكيميائى لمحلول الإظهار — درجة الحرارة — التقليب زمن الإظهار .. الخ . وفى البداية تستخدم اختبارات قياسات الحساسية لتحديد مواصفات عملية التشغيل . ثم تستخدم بعد ذلك باستمرار لمعرفة مدى مطابقة عملية التشغيل للمواصفات التى حددت لها . وذلك بامرار شرائح فيلمية (استقبلت تعريضا قياسيا فى جهاز تعريض الاختبارات) مع أطوال الفيلم المطلوب تشغيلها . وتعتبر الأفلام السينمائية العالية الجودة التى تقدم للجماهير ثمرة عمليات التشغيلة الخاضعة للمراقبة الدقيقة . ولك أن تتخيل مستوى جودة النتيجة النهائية ، سواء من فيلم إلى التالى ، أو حتى من لفة (بوبينة) إلى الأخرى من نفس الفيلم ، لو تجاهلنا ظروف التشغيل الدقيقة .

ومن الواضح أنه ليس فى إمكان كل فرد من المهتمين بالتشغيل الفوتوغرافى أن يقتنى تلك الأجهزة المتطورة التى أشرنا إليها من قبل . ولكن هناك حالات كثيرة يصبح فيها الإلمام بفكرة بسيطة – مهما كانت فجة – عن التماثل الدقيق لظرف التشغيل أمرا مفيدا . ويعتبر أبسط الأدوات ملائماً لتحقيق هذا الهدف . ومن الضرورى أن تشتمل هذه الأدوات على أوعية تشغيل منتظمة ، وعلى ترمومترات لقياس درجة حرارة المحاليل فى هذه الأوعية ، وعلى شريحة اختبار متدرجة الكثافة . ويمكن الحصول من المصنعين الفوتوغرافيين على هذه الشرائح ، معرضة وغير مشغولة ، حيث يقوم المستهلك بتشغيلها بنفسه للتأكد من دقة ظروف التشغيل المتاحة لديه . ويتم تعريض شريحة الفيلم أو الورق المستخدمة فى الاختبار بالسماح لها باستقبال الضوء عبر شريحة متدرجة قياسية طوال فترة زمنية تكفى بالكاد لطبعها على شريحة المادة الفوتوغرافية المطلوب اختبارها . وبعد تشغيل الأخيرة يتم الحصول على صورة للشريحة القياسية، يمكن قياسها إما بالعين أو بأجهزة خاصة . ويستقر وعاء الإظهار عادة فى حوض من الماء قد ضبطت درجة حرارته عند درجة حرارة التشغيل المختارة ، وهى ٦٨°ف . ويجب استخدام نفس طريقة التقليب طوال زمن معالجة شريحة الاختبار أو الفيلم السالب أو الفيلم الموجب فى محاليل التشغيل .

وليس من الممكن أن نستوفى هنا جميع التطبيقات العملية الفائقة الأهمية لقياسات الحسلسية ، إلا أنه يجب أن نضع فى اعتبارنا أن النجاح فى مراقبة عمليات التشغيل والتحكم فيها لأى درجة من الدقة يعتمد أساسا على وجه التطبيق العملى لقياسات الحساسية ، وعلى مدى توافر الأداة المناسبة لتنفيذه .

ولا تقتضى مراقبة ظروف التشغيل بواسطة قياسات الحساسية استغلال آلات تعريض الاختبارات وأجهزة قياس الكثافة الخاصة . بل يستطيع الأغلبية العظمى من المستعملين للمواد الفوتوغرافية الاسترشاد بنشرات التعليمات التى تتضمنها عبوات الأفلام أو أوراق الطبع . وتعتبر هذه التعليمات (أو التوصيات) خلاصة تجارب خضعت لمراقبة دقيقة ، أجريت بواسطة المصنعين على منتجاتهم . ومن ثم ، فان المصور يستعمل قياسات الحساسية بمعنى ما ، فى كل مرة يتبع فيها التعليمات المطبوعة

لمادة فوتوغرافية معينة . كما تحتوى كتب النتائج العلمية التى ينشرها مصنعو الأفلام على معلومات عن تداول المنتجات الفوتوغرافية .

وتعتبر هذه النتائج حصيلة اختبارات المراقبة التى أجراها المصنع . وهى تعتبر أيضا أفضل مرشد، فى متناول المستهلك، لتعريفه بطرق التداول الصحيح للمنتجات الفوتوغرافية التى صدرت بشأنها . وإذا ما اتبع المستهلك تعليمات التشغيل الصادرة لمادة فوتوغرافية معينة عند تشغيل مادة أخرى فانه يتبع بذلك نظاماً غير عملى لا يحول بينه و بين التردى فى هاوية الخطأ .

قياس حساسية المواد الملونة :

إذا كانت قياسات الحساسية ذات فائدة فى التصوير الفوتوغرافى الأبيض والأسود فهى أمر لا يمكن الاستغناء عنه فى التصوير الملون. ويرجع السبب فى ذلك إلى مايتطلبه التصوير الملون من شروط لابد من توفيرها لإتاحة الحصول على نسخ دقيق لألوان الطبيعة فى الصور الملونة. وهى نشوء ثلاث صور ملونة على الأقل فى ثلاث طبقات فوتوغرافية. الطبقة الأولى منها حساسة للضوء الأزرق، والثانية حساسة للضوء الأخضر، والأخيرة حساسة للضوء الأحمر. ويجب أن تكون الصور الثلاث متوازنة بالقدر المناسب من حيث الكثافة والتباين وشكل منحنى نسخ اللون . ويتيح لنا علم قياس الحساسية المعلومات التى تجعل ذلك أمراً ممكناً .

وتقوم العمليات الملونة التى تستغل الأفلام السالبة الملونة المنفصلة — مثل عملية كوداك لنقل الصبغات Kodak day Transfer Process — على طرق قياسات حساسية تشبه أساساً تلك المستخدمة مع الفيلم الأبيض والأسود . والفرق الأساسى هو أننا نحصل على منحنى منفصل لكل صورة من الصور ذات الألوان الأساسية، وأن هذه المنحنيات يجب أن تحمل فيما بينها العلاقة السليمة التى تتطلبها الصفات المميزة للعملية .

وتعتبر اختبارات قياسات الحساسية المستخدمة فى حالة العمليات الملونة أكثر تعقيداً من تلك الخاصة بالأفلام الأبيض والأسود . وذلك كما فى الأفلام الكوداكروم والكوداكولور التى تتكون فيها الصور الملونة الثلاث فى طبقات العجينة الفوتوغرافية الموضوعة بعضها فوق بعض بحيث لا يمكن فصلها .

وعند ضبط ضوء التعريض لا ينبغى أن نقصر اهتمامنا على قيمة معينة من شدة الإضاءة تمكننا من إعادة الحصول فى الصورة على ألوان الموضوع المصور ، بل يجب أن تهتم أيضاً بلون الضوء المستخدم فى التصوير ، وأن يخضع اختياره لمراقبة تضمن ملاءمته للصفات المميزة للمادة الفوتوغرافية التى يجرى تعريضها . وعند قياس الكثافة الفوتوغرافية على كل طبقة من طبقات الفيلم الملون (أى لكل صورة من الصور الملونة الثلاث) ، يجب استعمال الضوء المناسب لها .

وتتميز اختبارات قياسات الحساسية المستوفاة اللازم اتباعها فى عمليات تصنيع المواد الفوتوغرافية بدرجة كبيرة جدا من التعقيد سواء فى طرقها أو فى تفسير نتائجها. ومن حسن الحظ أن تلك الطرق التى يمكن استخدامها فى عمليات اختبار ومراقبة تشغيل المواد الملونة أقل تعقيداً منها بكثير . فعلى سبيل المثال ، تمد شركة أيستمان كوداك عملاءها بشرائح من الأفلام الأكتاكولور والكوداكولور ، لتوفر لعملائها طريقة للتحكم فى الجودة ، ومراقبتها أثناء التشغيل . ويقوم المستهلك بتشغيل واحدة من هذه الشرائح مع كل طول من الفيلم (أى مع كل بوبينة منه) . وبذلك يحصل على بعض من المعلومات عندما يفحص الشريحة المعرضة المشغولة ، بالعين . أما المعلومات الكاملة المصاغة بالأرقام واللازمة لاختبار عملية التشغيل فيمكن الحصول عليها من عدد قليل من القياسات البسيطة للكثافة .

الباب العاشر

مراقبة عمليـــة الإظهار

يقتضى الاستخدام العملى لمحاليل الإظهار أن يتم التحكم فى عدة عوامل هامة تؤثر على درجة الإظهار الناتجة . ويجب مراقبة هذه العوامل بدقة حتى يمكن الحصول على صـــور سالبة أو موجبة ذات جودة طيبة .

يعتبر الإظهار أكثر مراحل العملية الفوتوغرافية أهمية ، إذ تتكون الصورة أثناءه . وتتوقف الكثافة والتدرج الناتجان فى الصورة على درجة حرارة المحلول المظهر أثناء التشغيل . وفى الأيام المبكرة للتصوير الفوتوغرافى كانت عملية التشغيل تتم فى الظلام الدامس ، إذ لم تكن أضواء الأمان قد عرفت بعد . وكان القائم بالتشغيل يعمد إلى تطع جزء من المادة الفوتوغرافية المطلوب تشغيلها ، وإظهاره أولا . وبعد الحكم على جودته عن طريق فحصه بالعين، يقوم بتشغيل بقية المواد بناء عليه . وبعد ذلك عرفت أضواء الأمان . وأصبح فى إمكان المصور، أوالقائم بالتشغيل أن يلاحظ الصورة أثناء الإظهار فى ضوء الأمان المناسب . وساعد على سرعة انتشار هذهالطريقة أن حساسية المواد الفوتوغرافية التى كانت معروفة آنذاك — حتى الأفلام السالبة — كانت بسيطة للغاية ، مما سهل بالتالى عملية اختيار ضوء الأمان . ومع نمو الخبرة تم الحصول على نتائج ممتازة ، واستطاع المصور المحنك أن يحصل فى أغلب الأحيان على مجموعة من الأفلام السالبة تتمتع بنفس الصفات المميزة تقريباً . ثم ما لبثت الحاجة أن ألحت إلى ضرورة توفير مستحلبات أسرع . وخرجت إلى الوجود عجائن فوتوغرافية عالية السرعة من نوعى الأورثوكروماتيك والبانكروماتيك .

وبالرغم من أن كل نوع من هذه الأنواع له ضوء أمان يمكن تداوله فيه ، إلا أن هذه الأضواء ليست بالقوة التي تمكن القائم بالتشغيل (أو المصور) من رؤية الصور التي تتكون على العجينة الفوتوغرافية أثناء الإظهار . ومن ثم كان لابد من البحث عن وسيلة يستطيع بها المصور أن يتتبع عملية إظهار المواد الفوتوغرافية وأن يتحكم فيها . ومن حسن الحظ أن قياسات الحساسية قد أتاحت ذلك . وأمكن بواسطتها التحكم فى عملية الإظهار سواء أتمت فى ظلام جزئى (أى فى ضوء أمان مناسب) أم فى ظلام كلى .

ومن ثم تحتوى نشرات التعليمات الخاصة بالمواد الفوتوغرافية على معلومات تعرف المصور الفوتوغرافى بظروف إظهار هذه المواد فى محلول إظهار ذى صفات نوعية محددة ، ولفترة زمنية تقدر بعدد معين من الدقائق ، عند درجة حرارة معينة ، ومع توافر مدى معين من التقليب .

وإذا أهمل القائم بالتشغيل أى جزء من التعليمات المتعلقة بطريقة تشغيل معينة فان النتائج قد تأتى مغايرة لما توقعه . وإذا افترضنا أن التعريض الضوئى الذى استقبلته هذه المواد كان صحيحاً ، فان هناك عدة عوامل تنتمى إلى الإظهار يجب وضعها تحت المراقبة .

العوامل الفيزيائية :

وتختص بعض هذه العوامل بالظروف الفيزيائية التى تشتمل عليها عملية الإظهار ، وهى تتناول تأثير زمن الإظهار ودرجة الحرارة ومدى تقليب محلول الإظهار . ويمكن عرض هذه التأثيرات بدلالة التغييرات التى تحدث فى الصفات المميزة لمنحنيات هيرتر ودريفيلد . ولقد افترضنا فى المناقشات التالية أن ظروف التشغيل خاضعة لمراقبة أدق طرق اختبارات الحساسية ، بما يضمن بقاء جميع العوامل ثابتة فيما عدا ذلك العامل الموضوع تحت الدراسة . وحيث إن جميع هذه العوامل أساسية فى تشغيل جميع العجائن الفوتوغرافية ، فاننا سنستخدم فى دراستها منحنى بيانى مميز لعجينه فوتوغرافية ما ، نطلق عليها اسم العجينة « س » .

زمن الاظهار :

تحتاج أغلب العجائن الفوتوغرافية إلى البقاء لفترة زمنية معينة فى محلول الإظهار قبل أن تبدأ عملية الإظهار فعلا . ويطلق على هذه الفترة الزمنية الوجيزة

اسم « فترة التجهيز » Induction period . أى الفترة اللازمة للعجينة الفوتوغرافية حتى تتكيف تمهيدا لبدء الإظهار . وما إن يبدأ الإظهار حتى تأخذ كمية الفضة المتكونة على الصورة فى الازدياد ، وبالتالى تزداد قيمة الكثافة الناتجة على الصورة كلما ازداد زمن الإظهار . وتوجد علاقة تناسبية طردية بين كمية الفضة المتكونة وبين التعريض الضوئى الأصلى الذى قد استقبلته المادة الفوتوغرافية . وتوضح المنحنيات البيانية فى الشكل رقم (٢٤) تأثير الزيادة فى أزمة الإظهار على العجينة الفوتوغرافية .

ومن الواضح أن قيمة الجاما — أى ميل منطقة الخط المستقيم بالمنحنى البيانى المميز — تزداد بزيادة زمن الإظهار . ويتوقف تحديدنا لمنحنى معين بأنه هو ذلك الذى يشير إلى أفضل ظروف التعريض ، على نوع العجينة الفوتوغرافية المستعملة بالذات ، وعلى الهدف من وراء استخدامها .

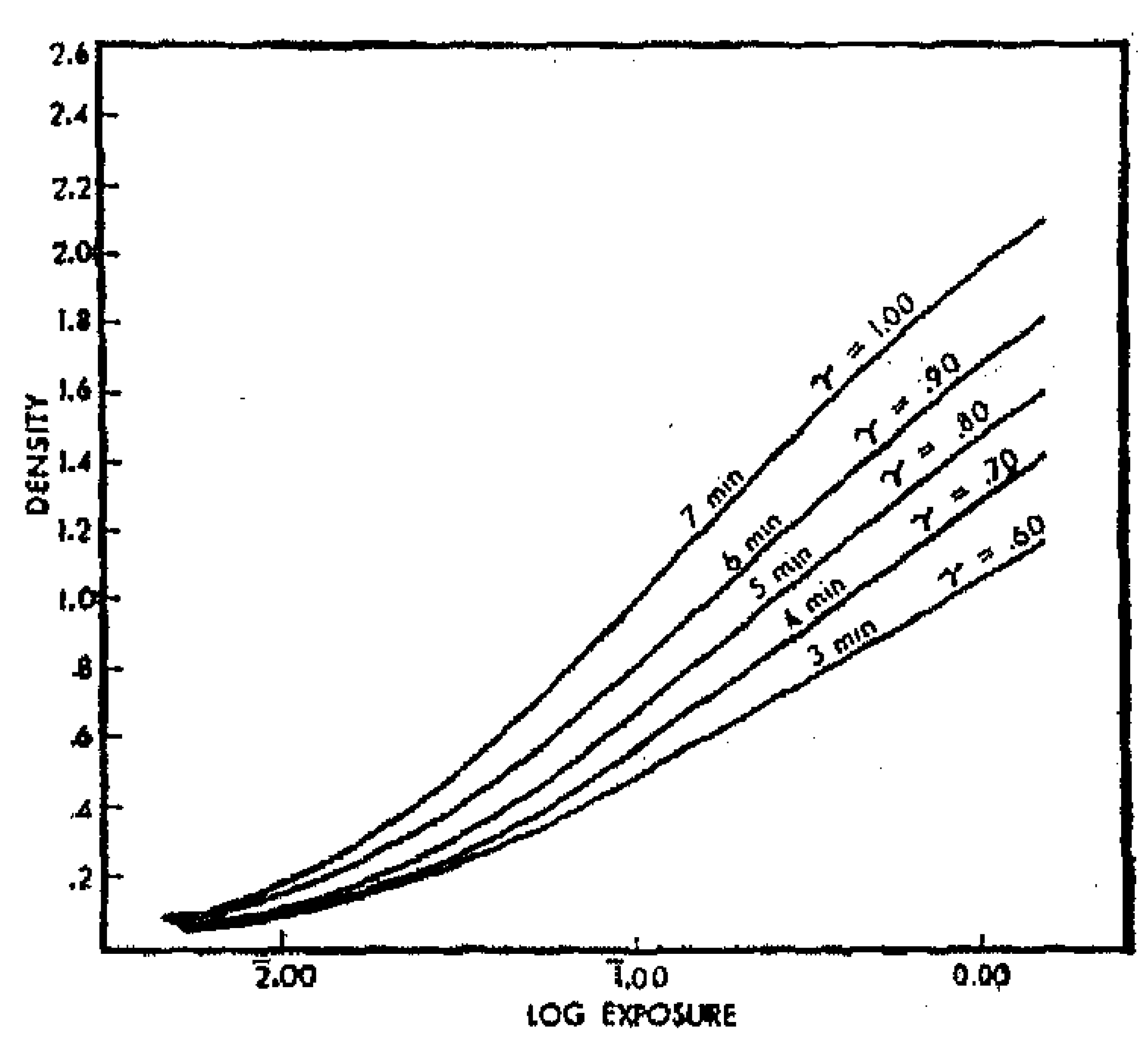
والواقع أنه يمكن الحصول عامة على قيمة الجاما المطلوبة فى أى حالة ، عن طريق تغيير زمن الإظهار داخل مدى محدود .

ويمكن رسم مجموعة من المنحنيات ، مثل تلك المبينة فى الشكل ، لتمثيل العلاقة بين أزمنة الإظهار وقيم الجاما المنتمية لهذه الأزمنة . وينتج لدينا بذلك منحنى عملى ، وقيم جدا ، يسمى « منحنى زمن الإظهار والجاما » . ويتخذ هذا النوع من المنحنيات نفس المظهر العام لذلك المنحنى المبين فى الشكل رقم (٢٥) .

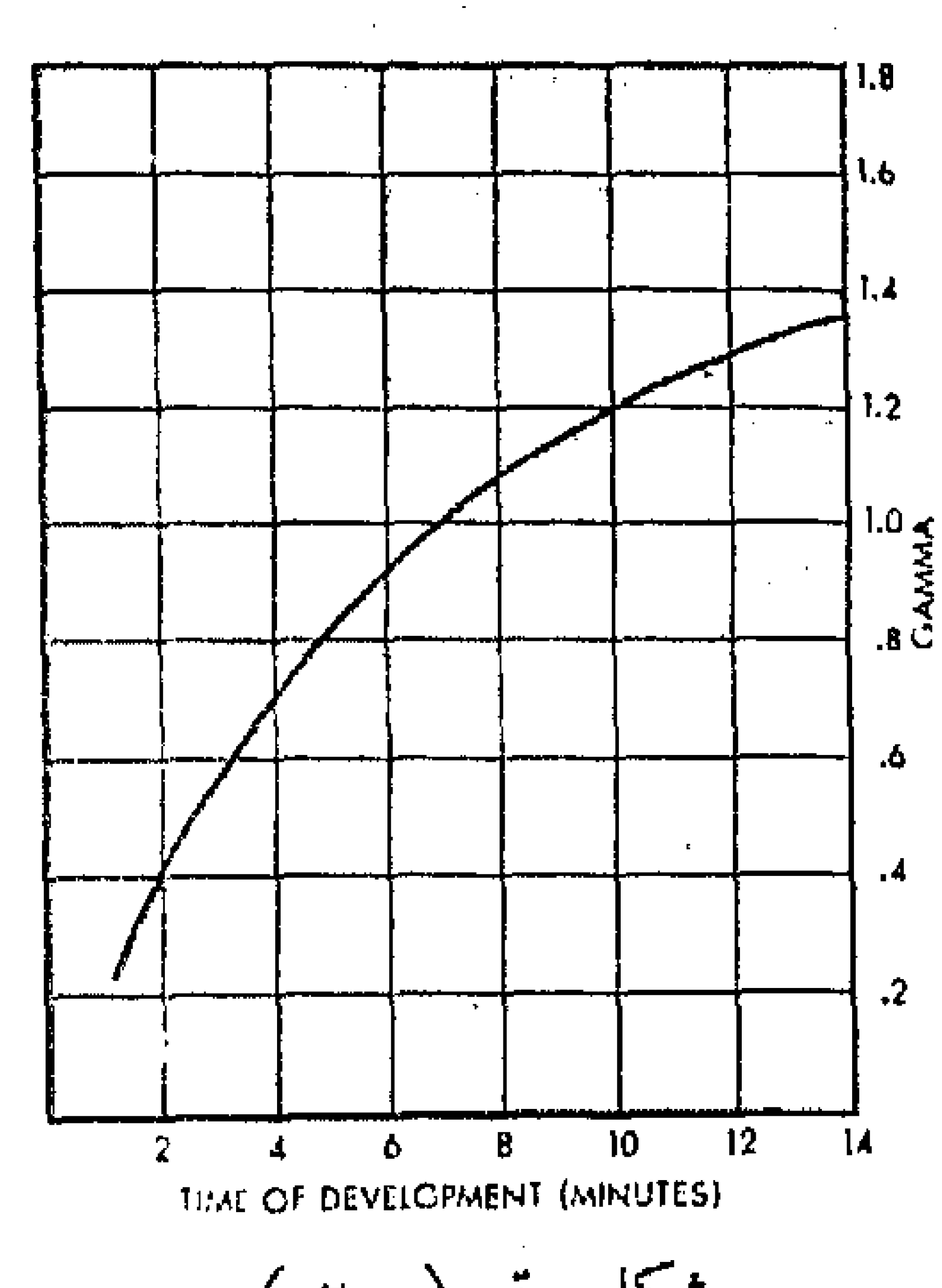
ويمكن الاستفادة من ذلك النوع من المنحنيات فى تحديد زمن الإظهار اللازم للحصول على قيمة جاما معينة ، أوفى تحديد قيمة الجاما التى يتم الحصول عليها عند تشغيل الفيلم على زمن إظهار معين عند درجة ٨٦ فهرنهيت . فمثلا إذا كانت قيمة الجاما التى نرغب فى الحصول عليها هى ٨٠ ,٠ — فما علينا إلا أن نحدد مكان هذه القيمة على محور الجاما ، ثم نرسم خطا مستقيما موازيا لمحور زمن الإظهار ونمده على استقامته حتى يقطع منحنى زمن الإظهار والجاما ، ثم نسقط خطا أفقيا من هذه النقطة على محور

زمن التعريض ، ثم نقرأ على هذا المحور زمن الإظهار اللازم للحصول على قيمة جاما مقدارها ٠,٨٠ ، وهى خمسة دقائق فى هذه الحالة بالذات .

ويتم إعداد منحنى زمن الإظهار وقيمة جاما من النتائج التى نحصل عليها من اختبارات قياس الحساسية التى قد عولجت فى محلول إظهار درجة حرارته ٦٨ درجة فهرنهيت عادة . ولا تنطبق المعلومات المستخلصة من كل منحنى من تلك المنحنيات التى تمثل العلاقة بين زمنى الإظهار وقيمة الجاما ، إلا على نوع العجينة الذى أجريت اختبارات قياس الجاما عليه . ومن ثم يقتصر استخدام كل منها على عجينة معينة ، ومحلول إظهار معين. وذلك لأن محاليل الإظهار المختلفة لا تختلف عن بعضها البعض من حيث درجات النشاط فقط ، بل إنها أيضا تقوم باظهار العجائن الفرتوغرافية المختلفة على معدلات اظهار متباينة .



شكل رقم (٢٤)
تاثير الزيادة فى أزمنة الاظهار



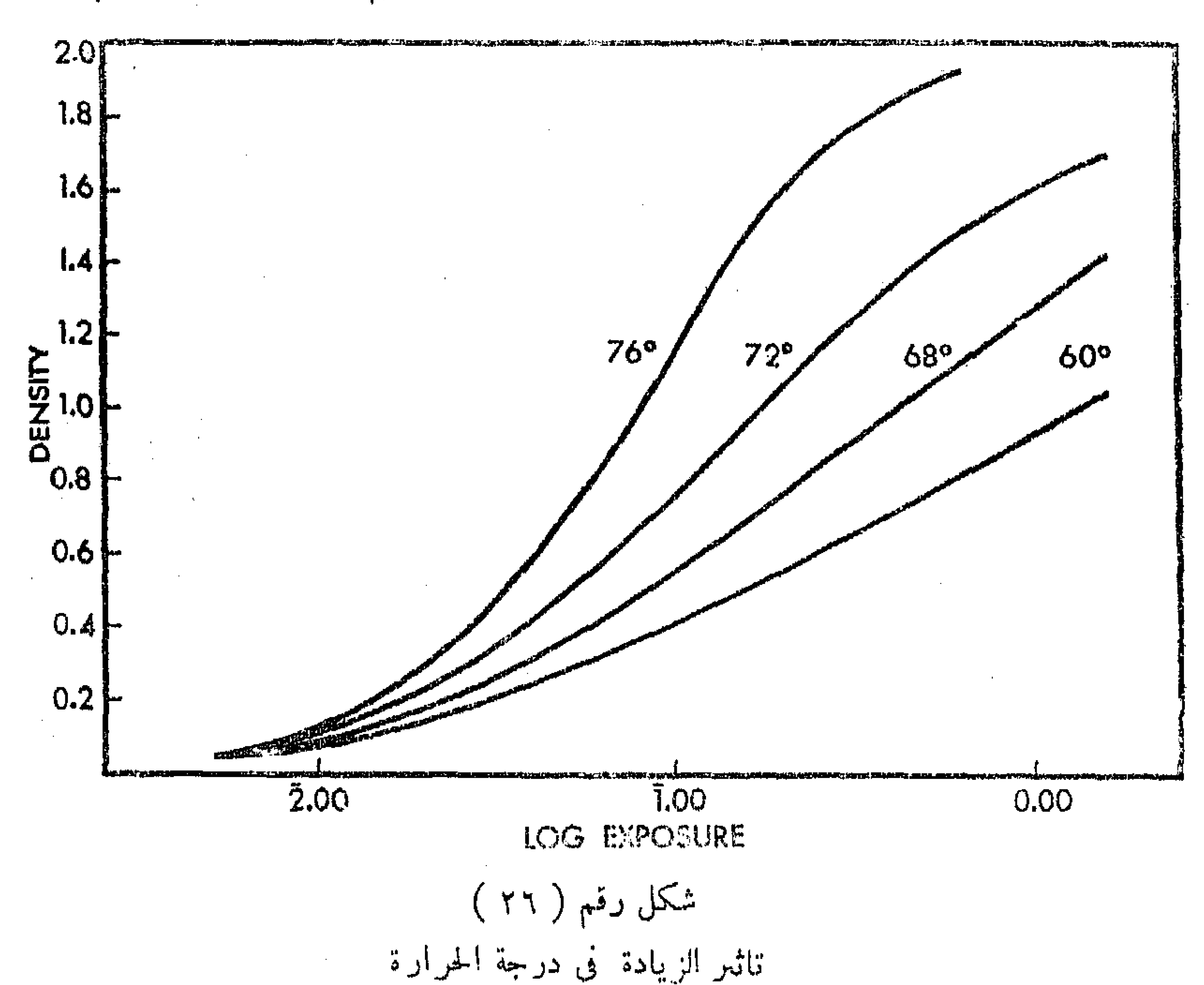
شكل رقم (٢٥)
المنحنى البيانى الذى يمثل العلاقة بين الجاما وزمن الاظهار

تأثير درجة الحرارة :

يزداد معدل الإظهار بارتفاع درجة حرارة المحلول المظهر . وإذا افترضنا أن المنحنى الخاص بزمن إظهار قدره سبع دقائق فى الشكل (رقم ٢٤) يمثل أنسب ظروف التحميض للعجينة الفوتوغرافية (س) ، فان المنحنى المبين فى الشكل يوضح تأثير الزيادة فى درجة الحرارة على شكل المنحنى .

ولقد تم الحصول على مجموعة المنحنيات المبينة فى الشكل رقم (٢٤) بالإظهار عند درجة ٦٨ فهرنهيت . إذ إن هذه الدرجة تعتبر درجة الحرارة القياسية لتشغيل أغلب الأفلام الأبيض والأسود .

وتزداد سرعة الإظهار بارتفاع درجة الحرارة ، فتتكون بذلك كمية من الفضة أكبر من تلك التى تتكون على نفس العجينة الفوتوفرافية فى نفس المحلول المظهر فى زمن أقل . وعلى نفس المنوال يؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى إبطاء معدل تكون الفضة ، الأمر الذى يؤدى بالتالى إلى انخفاض قيم الكثافة والميل والجاما .



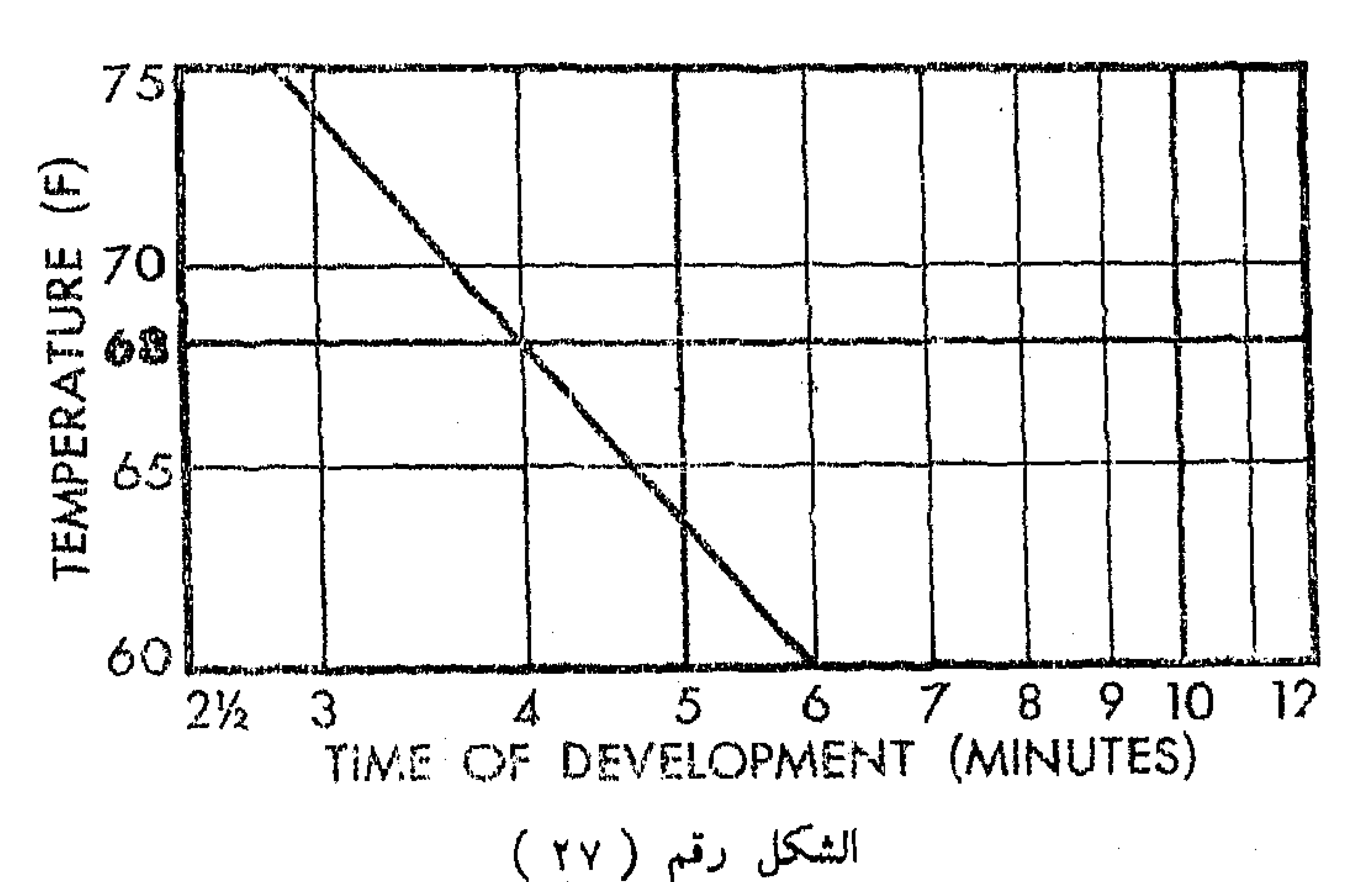
شكل رقم (٢٦)
تأثير الزيادة فى درجة الحرارة

ومن وجهة النظر الكيميائية توثر درجات الحرارة العليا على معدل التفاعلات الكيميائية ، وعلى معدل انتشار المحلول خارج الجلاتين ، وعلى مدى تأين أو تفكك المواد الكيميائية فى المحلول . وتزداد هذه المعدلات عادة بارتفاع درجة الحرارة .

ويقوم كل منها بدور فى التفاعل النهائى . والحقيقة أن تأثير الحرارة معقد للغاية ولكن الاختبارات التى تتم تحت ظروف خاضعة للتحكم والمراقبة ، تستطيع أن تكشف عن هذا التأثير بالقدر الذى يفيد التطبيق الفوتوغرافى العملى كثيراً . ومن

المرغوب فيه بالنسبة للتطبيق الفوتوغرافى أن نتعرف على جميع إجراءات الضبط التى يجب اتخاذها عند التشغيل ، عند درجات حرارة عالية ، (عن تلك التى ينصح بها مصنع المادة الفوتوغرافية) ، أو الإجراءات التى يجب أن تتخذ لتصحيح أو تعديل ظروف التشغيل السائدة ، للتغلب على المتاعب الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة . ومن النادر أن يتطلب الأمر القيام باجراء تجارب بهذا الشأن ، ولاسيما بعد أن عمد مصنعو المواد الفوتوغرافية إلى نشر نتائج فى أشكال مناسبة يمكن الرجوع اليها عند الحاجة .

فمثلا ، إذا كانت درجة حرارة محلول الإظهار المتاح هى ٧٤ درجة فهرنهيت ، فما هو زمن الإظهار الواجب تشغيل الفيلم عليه عند هذه الدرجة الحصول على الدرجة المرغوبة من الإظهار ؟ ويمكننا أن نحصل على منحنى بيانى يمثل العلاقة بين زمن الإظهار ودرجة الحرارة بالنسبة لأى عجينة فوتوغرافية ومحلول إظهار معينين معا ، باظهار مجموعة من الاختبارات تحت ظروف خاضعة للتحكم والمراقبة عند درجات حرارة مختلفة ، وأزمنة إظهار مختلفة . ومن هذه المجموعات من الاختبارات يتم تعيين زمن الإظهار الذى يعطى درجة الإظهار المرغوبة عند كل درجة من درجات الحرارة التى شملها الاختبار . وبعد ذلك نرصد هذه الأزمنة ودرجات الحرارة على ورقة رسم بيانى لإعداد منحنى الحرارة وزمن الإظهار (أى المنحنى البيانى الذى يمثل علاقة بين درجة الحرارة وزمن الإظهار) .



الشكل رقم (٢٧)

المنحنى البيانى الذى يمثل العلاقة بين زمن الإظهار ودرجة حرارة محلول الإظهار

وحيث إن زمن الإظهار الصحيح بالنسبة للعجينة الفوتوغرافية « س » هو ٤ دقائق عند الدرجة القياسية ٦٨ فهرنهيت ، فان زمن الإظهار الجديد عند درجة ٧٤ فهرنهيت سيكون ٣ دقائق. ويزداد مدى الإظهار عند درجات الحرارة العالية ، ومن ثم يجب معالجة الفيلم عند أزمنة إظهار أقل ، للحصول على قيمة معينة للجاما عند درجة إظهار معينة .

تأثير التقليب :

لقد ذكرنا أهمية التقليب من قبل وأشرنا إلى أن انعدام التقليب يؤدى إلى تكوين طبقة راكدة أو خاملة من المحلول على سطح العجينة الفوتوغرافية . ويزداد غنى هذه الطبقة بالبروميد — وهو مادة مثبطة كما ذكرنا من قبل — وتستنفد مادة الإظهار الموجود فيها ، جزئيا .

ويؤدى تقليب محلول الإظهار إلى تصدع الطبقة الراكدة أو الخاملة من المحلول المستعمل ، والسماح لمحلول الإظهار الطازج بالوصول إلى العجينة الفوتوغرافية . وطريقة التقليب المستخدمة ومداه ، هما اللذان يقرران فاعلية الإظهار . ويجب فى أى حالة أن يكون التقليب قادراً على توفير معدل متجانس من النشاط فوق أو على كل مساحة العجينة الفوتوغرافية . والتقليب فى العادة هام للغاية فى اللحظات أو الدقائق القليلة الأولى من زمن الإظهار . إذ يتم خلالها تشرب الجيلاتين وبدء الإظهار . وقد نحصل على تأثيرات غير سوية للغاية عندما نكون طريقة التقليب ومداه غير صحيحين.

ويتم تخطيط مراحل عملية التشغيل فى نواحى التطبيق الفوتوغرافى الحالية ، على أساس التوصيات التى يصدرها مصنع المواد الفوتوغرافية عادة . وتعد هذه التوصيات بناء على اختبارات قياسات الحساسية التى تجرى بدقة . وإذا رغب المصور أو الفنى القائم بالتشغيل فى استخدام تلك النتائج المنشورة كدليل له ، فيجب عليه ملاحظة زمن الإظهار الصحيح ، ودرجة الحرارة ، والتقليب . وهذه العوامل هامة لكل ازدواج فوتوغرافى ، أى لكل عجينة فوتوغرافية ومحلول إظهار .

العوامل الكيميائية :

هناك بعض العوامل الكيميائية التى يجب أخذها فى الاعتبار جنباً إلى جنب مع العوامل الفيزيائية ، مثل زمن معالجة درجة والحرارة . وبذلك تتوافر المراقبة السليمة للإظهار .

تأثير التخفيف :

يؤدى تخفيف أى محلول سواء أكان حامضاً أو قاعدة أو ملحاً باضافة الماء إليه إلى نقص تركيز المحلول الذى يصبح بالتالى أقل نشاطاً . فمثلا إذا أوصى باستعمال تركيز معين من حامض ما فى تنظيف أحد المعادن ، فان استعمال نفس الحامض على درجة تركيز أقل ، قد يحتاج إلى وقت أطول فى تنظيف المعادن ، أو قد لا يؤثر عليها على الإطلاق. وعلى نفس المنوال لا يؤدى استعمال محلول الإظهار المخفف جداً إلى إنتاج كمية من الفضة على الفيلم تكفى للحصول على صورة سالبة أو موجبة مقنعة . ولكن المظهر محلول كيميائى أكثر تعقيداً (من الحامض المخفف السابق ذكره) . وهو يحتوى عادة على مواد منظمة للأس الأيدروجينى لتقاوم التغيرات التى قد تلم بمحاليل الإظهار والتى تؤثر على صفاتها المميزة . وبفضل هذا التنظيم تحتمل أغلب محاليل الإظهار التخفيف الطفيف ، بدون أن ينتاب نشاطها أى تغيير واضح .

وفى الناحية الأخرى يتم تركيب بعض محاليل الإظهار — المعدة للتخزين بقصد استعمالها فيما بعد فى أغراض متنوعة — على درجات تخفيف مختلفة . وفى هذه الحالات تكون مقادير المواد الكيماوية المستخدمة فى تحضير محاليل التخزين كافية بحيث تسمح باجراء درجات التخفيف الموصى بها للحصول على محاليل إظهار بالصفات المطلوبة لنواحى الاستعمال المتنوعة .

محلول الإظهار الأكثر تخفيفاً يكون أقل نشاطاً عامة ، وهو إما أن ينتج صورة أقل اسوداداً فى زمن تحميض معين ، وعند درجة حرارة معينة ، وإما يحتاج إلى زمن أطول لإنتاج درجة معينة من الإظهار . وحيث إن محاليل الإظهار الفوتوغرافية عبارة عن محاليل كيميائية أكثر تعقيداً ، وإن محاليل الإظهار المتنوعة تختلف فى تركيبها بدرجة كبيرة ، فانه من المستحيل تقريباً أن نتنبأ بالضبط بتأثير التخفيف . إذ لا بد أن نحدد هذه التأثيرات عامة عن طريق الاختبارات العملية . وبعض عناصر الإظهار أقل استجابة من الأخرى لتأثيرات التخفيف ، وتتغير قيم الأس الأيدروجينى فى بعض محاليل الإظهار بسرعة أكبر ، نتيجة لذلك التخفيف .

تاثيرات الاستعمال :

لقد درسنا حتى الآن التأثيرات التى تلم بمحلول الإظهار الطازج فقط . ولقد قررنا من قبل أن محاليل الإظهار يتم تركيبها بحيث تستطيع إظهار مساحة كبيرة من المستحلب بدون حدوث تغير ملحوظ فى صفات الصورة الفوتوغرافية . ويتم تحديد الفترة الزمنية التى تستنفذ فيها الحياة النافعة لمحلول الإظهار بناء على الكيفية التى يستطيع بها المظهر أن يقوم بالمهمة المرجوة منه .

وفى أغلب الأحيان يتم استنباط تركيبة تحضير محلول الإظهار ، أو أى محلول فوتوغرافى آخر ، بطرق كيميائية بحيث يقدر المحلول على إنتاج صورة طيبة ، لا على قطعة واحدة من الفيلم أو الورق ، بل على عدة قطع منفصلة يتم تشغيلها فيه بالتتابع . ويعنى هذا أن كل مادة من المادة الكيميائية المستخدمة فى التركيبة يجب أن تتواجد بالنسبة الصحيحة اللازمة لإنتاج : (١) صورة مقنعة فى المقام الأول (٢) صورة مقنعة فى كل قطعة من قطع الفيلم أو الورق التى استقبلت جميعها نفس التعريض الضوئى . وتعتبر التركيبة فى صورتها النهائية ، نتيجة لمجموعات من اختبارات قياسات الحساسية قد تم تشغيلها مع مجموعة من الاختبارات التى أجريت تحت ظروف التشغيل العملية . وتمدنا اختبارات قياسات الحساسية بوسيلة دقيقة لاختبار ظروف المحلول عند مراحل مختلفة ، طوال فترة استعماله .

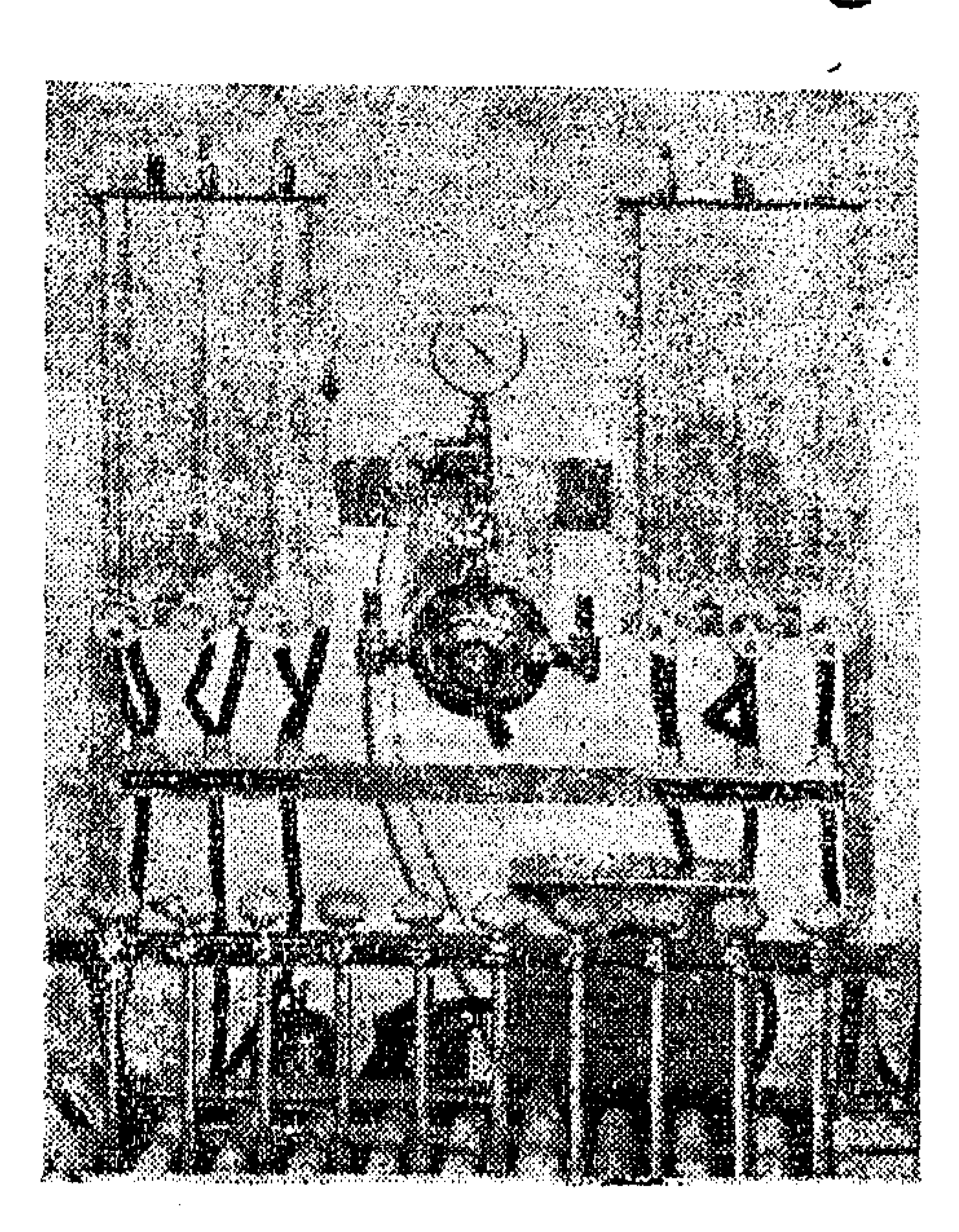
وتصاغ الأرقام الدالة على إنهاك المحاليل باصطلاحات مثل : عدد قطع الفيلم أو الورق فى الجالون الواحد[1] من محلول الإظهار ، أو بدلالة عدد الأقدام المربعة من الفيلم أو الورق التى يتم تشغيلها فى الجالون الواحد منه . ومن الوجهة النظرية يجب أن تكون أرقام استهلاك المحاليل بمثابة تمثيل لظروف العمل الفعلية ، ولاسيما بالنسبة للمساحات المعرضة على الفيلم أو الورق . وهذه مسألة هامة حيث إن المحلول المظهر يصبح منهكاً بناء على الفضة التى قام بتكوينها فى الصور . ولكن إعطاء أرقام استهلاك مختلفة لكل وجه من أوجه التطبيق المتعددة . ليس أمراً عمليا . ومن ثم يحاول المصنع تزويد المستهلك بمعدل الاستهلاك الخاص بكل تركيبة

(١) استعمل المؤلف وحدات القدم والجالون حيث أنها هى المستعملة فى أمريكا انظر جدول التحويلات فى الملحق . (المترجم)

من تركيبات محاليل الإظهار ، وبحيث يستطيع المستهلك استخدام هذا الرقم كدليل فى عملية معينة بالذات من عمليات التشغيل .

وللتكنيك المتبع فى عملية تشغيل المواد الفوتوغرافية تأثير هام على الحياة النافعة التى يصبح المحلول منهكاً بعدها . فمثلا فى حالة التشغيل داخل الأطباق يستطيع القائم بالتشغيل أن يزيل المحلول من فوق كل فيلم أو قطعة الورق قبل نقلها إلى الطبق (الوعاء) المحتوى على المحلول التالى ، أو قد ينقلها بدون هذه الإزالة. وفى الحالة الأخيرة تحمل المواد الفوتوغرافية معها كمية أكبر من المحلول المظهر ، وبالتالى يقل عدد وحدات المواد الفوتوغرافية التى يمكن إظهارها فى المحلول . وبالتالى قد يحول اتباع هذا التكنيك دون القيام بتشغيل نفس كمية المواد الفوتوغرافية الواردة فى الأرقام الدالة على استنفاذ قدرة المحلول . ولقد أدت مثل هذه الاختلافات المحتملة فى تكنيك التشغيل إلى تضمين الأرقام الدالة على الحياة النافعة للمحاليل على معاملات أمان تتيح تداولها بسلام .

ولكننا ما زلنا ننصح بأخذها كدليل فقط .



الشكل رقم (٢٨)

نظام التقوية المستمرة للمحاليل من النوع الذى يستعمل فى معامل التشغيل الكبيرة . ويتم التحكم فى معدل التقوية بواسطة صمامات ومقاييس لسريان المحاليل ، مثل تلك الظاهرة فى الصورة .

التقـوية :

من إلهام فى كثير من التطبيقات، مثل تلك الخاصة بتشغيل الأفلام السينمائية، أن تتم المحافظة على صفات محلول الإظهار ثابتة بدون تغيير، طوال فترة تشغيل كميات كبيرة من الفيلم أو الورق (أى لفترات زمنية طويلة) .

ويمكن تحقيق ذلك باتباع نظام لتقوية المحاليل . وهو عبارة عن إضافة محلول أكثر تركيزاً إلى محلول الإظهار، ولكنه يحتوى على نفس أنواع مكوناته تقريباً(١) وذلك لتصحيح التغيرات التى ألمت بمحلول الإظهار نتيجة الاستعمال . ومن الأفضل أن يتم فى حالات التشغيل الضيقة النطاق، استعمال معدلات التقوية الموصى بها من قبل مصنع المواد الفوتوغرافية بالنسبة لظروف التشغيل العادية . أما فى الحالات المتسعة النطاق — كما فى المعامل السينمائية مثلا — فقد يتطلب الأمر إجراء عدة اختبارات كيميائية وفوتوغرافية، لضبط تركيز المواد الكيميائية الداخلة فى تركيب محلول التقوية بحيث يصبح ملائما لمستلزمات موقف معين (أى ظروف تشغيل معينة) .

ويعتمد تركيب محلول التقوية الخاص بمحلول إظهار معين على تركيب محلول الإظهار المستعمل نفسه . ومن الوجهة العامة تحتوى محاليل التقوية على سلفيت الصوديوم بنفس نسبتها فى محلول الإظهار، ولكنها تحتوى على تركيز أكبر من المادة القلوية، ومادة الإظهار، وجمعها تستهلك فى تفاعل الإظهار. ولا يحتوى محلول التقوية عادة على مواد مثبطة، كبروميد البوتاسيوم مثلا . وفى بعض الحالات يستعمل محلول مركز من المظهر نفسه كمحلول تقوية. ولكنه ليس من المناسب اتباع ذلك الأسلوب ما لم تصدر توصية خاصة به من قبل مصنع الفيلم الخام

ويتم ضبط محلول التقوية عادة بحيث يمكن المحافظة على درجة نشاط المحلول الأصلى ثابتة عند إضافة كمية كافية منه إلى محلول الإظهار لتحل محل تلك التى تشربها الفيلم أو حملها معه، بالإضافة إلى قيامها بالتعويض عما ألم بتركيز المواد الكيميائية من نقص نتيجة التشغيل .

(١) لا يحتوى محلول تقوية محلول الاظهار على مادة البروميد عادة . (المترجم)

ومن هذا يتضح أن محلول التقوية يقوم بوظيفتين : الأولى هى تعويض النقص فى حجم المحلول الأصلى نتيجة لما يحمله الفيلم معه منه . والثانية هى تعويض النقص فى التركيب الكيميائى ، نتيجة لما يحدث من تفاعلات كيميائية أثناء التشغيل . ونظرا لأن النقص فى حجم المحلول يعتمد على كفاية الوسيلة الآلية المستخدمة فى إزالة المحلول من فوق الفيلم قبل مغادرته للمظهر ، فانه لا يمكن الجزم بمقداره ، إذ يختلف مقدار هذا النقص من وسيلة تشغيل إلى الأخرى . ومن ثم يجب إجراء نوع من الضبط بالنسبة لجرعة التقوية ، والصفات الكيميائية لمحلولها ، حتى يصبح نظام التقوية المستخدم ملائما لظروف التشغيل السائدة فى حالة معينة بالذات . أى أنه يجب وضع تخطيط دقيق لتكنيك التقوية بالنسبة لكل وسيلة من وسائل التشغيل كما يجب اختباره قبل وضعه فى الاستخدام العملى الفعلى . كما يجب التأكد أيضا من أنه قد تم ضبط معدل التقوية بعناية ، وكذلك يجب ملاحظة نشاط محلول الإظهار بدقة طوال فترة الاستعمال .

حمامات الشطف :

يجب إيقاف التفاعلات الكيميائية التى تتم أثناء عملية الإظهار — بسرعة — بعد أن يصل زمن الإظهار الدقيق إلى نهايته ، وذلك حتى يمكن الحصول على درجة الإظهار المرغوبة . وتستعمل حمامات الشطف لهذا الغرض .

وبالنسبة لبعض الازدواجات التى يشتمل كل منها على عجينة فوتوغرافية معينة ومحلول إظهار معين ، يعتبر الماء القراح ملائما لهذا الغرض . ولكن هناك حالات كثيرة تستدعى إضافة حامض إلى الماء ، لجعل المحلول أكثر فاعلية فى وقف فعل المظهر ، بسرعة وبطريقة متجانسة . ويسمى مثل هذا المحلول الحامضى من محاليل الشطف باسم « محلول الإيقاف » ، وهو يوقف الإظهار بمعادلته للقلوى أو المادة النشطة التى تشبعت بها طبقة العجينة الفوتوغرافية بعد الإظهار . ويحول محلول الإيقاف دون نشوء الصبغات ذات اللون البنى التى تتكون فى بعض الأحيان بتأثير الأكسجين الموجود فى الهواء الجوى ، على محلول الإظهار القلوى الموجود على سطح الفيلم أو الورق . كما يمنع المادة القلوية من إنقاص قدرة حمام التثبيت على إكساب الصلابة للجيلاتين . وكذلك يقلل انتفاخ الجيلاتين الموجود فى العجينة الفوتوغرافية عندما يغمر الفيلم أو الورق فى محلول حامضى .

ويعتبر محلول حامض الخليك أكثر حمامات الإيقاف شيوعا فى الاستعمال . ولكنه يجب ألا يرتفع تركيز الحامض بالمحلول للسببين الأساسيين التاليين : الأول ، هو أن الحامض يستطيع أن يؤثر على الصفات الفيزيائية المميزة لبعض دعامات الأوراق الفوتوغرافية بطريقة تجعلها هشة جدا أثناء التخفيف أو التخزين . والثانى ،هو أن الحامض يستطيع أن يتفاعل مع كربونات الصوديوم فى بعض محاليل الإظهار مكونا غاز ثانى أكسيد الكربون داخل بناء المستحلب مسببا تدرنه . وتحت الظروف السيئة جدا يستطيع حمام الإيقاف ذو الحامضية الفائضة أن يطلق غاز ثانى أكسيد الكبريت من سلفيت الصوديوم فى المحلول المظهر .

ويستطيع محلول الإيقاف الحامضى أن يسمح ببقاء كمية معينة من المادة القلوية فى محلول الإظهار الذى حمله الفيلم أو الورق معه قبل أن تفقد فاعليتها . ويمكن اختبار ذلك بواسطة صبغات الأدلة الكاشفة التى يتغير لونها عندما تهبط حامضية المحلول إلى منطقة الخطر .

وقيمة الأس الأيدروجينى لمحاليل الإيقاف الطازجة المحتوية على حامض الخليك هى ٣,٥ تقريبا . أما بالنسبة للحمام المستعمل المنهك فهى حوالى ٥,٥ . ويمكن باضافة حامض الخليك الذى قوته ثمانية وعشرون فى المائة، إعادة الأس الأيدروجينى لمحاليل الإيقاف إلى قيمتها الأصلية، وذلك بالنسبة لعمليات تشغيل الأفلام . أما فى حالة تشغيل الورق فانا لا نوصى باستخدام هذه التقوية على أية حال ، وذلك لأن نتائج التفاعل التى تتجمع فى الحمام أثناء الاستعمال ، قد تسبب حدوث أنظمة متنوعة من البقع على الورق ، إذا ما رغب المصور فى تلوينه بعد ذلك .

اقتراحات عملية :

يمكن تلخيص المناقشة العامة السابقة عن الإظهار فى مجموعة من الحقائق البسيطة إلى حد ما بالنسبة للمصور الفوتوغرافى ، أو الفنى القائم بالتشغيل ، فى النقاط التالية :

١ — استعمل تركيبات الإظهار الموصى بها لتشغيل المادة الفوتوغرافية المستخدمة

٢ — عليك تحضير محلول الإظهار بدقة — إما طبقا للتركيبات المنشورة ، أو للتعليمات الموجودة فى عبوات محاليل الإظهار .

٣ - استعمل المواد الكيميائية التي تتميز بأعلى درجات النقاء .

٤ - أذب المواد الكيميائية بالترتيب الوارد في التركيبات المنشورة ، وتأكد من أن كل مادة قد تمت إذابتها قبل إضافة المادة التالية .

٥ - استصلح لنفسك طريقة قياسية في التشغيل . بالنسبة لزمن الإظهار ، ودرجة الحرارة ، والتقليب ، وكمية المادة المطلوب تشغيلها .

٦ - استخدم درجة الإظهار التي هي أكثر ملاءمة لنوع العمل والجهاز المستعمل . ويجب أن يبنى هذا على الخبرة السابقة ، أو الاختبارات التي يمكن فيها استخدام النتائج المنشورة ، كدليل للاسترشاد به .

٧ - اغسل المواد الفوتوغرافية بالماء وثبتها طبقا للطريقة الموصى بها .

الباب الحادى عشر

محاليل التثبيت الفوتوغرافية

يتم إظهار الصورة الكامنة التى نشأت على الفيلم أثناء التعريض ، فى محلول الإظهار ، لإنتاج الصورة المرئية . وتظل العجينة الفوتوغرافية حتى هذه المرحلة من مراحل التشغيل محتوية على هاليدات الفضة التى لم تستقبل تعريضا ضوئيا . والهدف من حمام التثبيت هو إزالة هاليدات الفضة التى لم تتعرض للضوء من على العجينة الفوتوغرافية ، ومن ثم جعل الصورة أطول دواما .

وتتضح أهمية حمام التثبيت فى التصوير الفوتوغرافى من حقيقة أن اكتشاف طريقة عملية لإنتاج الصور الدائمة قدتأجل ثلث قرن ، من بعد أن أعلن ويدجوود ودافى Wedgewood and Davy فى سنة ١٨٠٢ حصولهما على صورة لم يستطيعا المحافظة عليها طويلا لعدم معرفتهما لمادة التثبيت . وما إن أصبحت فى متناول اليد مادة تثبيت عالية الكفاية حتى انطلق تطور العملية الفوتوغرافية بخطى سريعة ؛ واتسع انتشار تطبيقاتها العملية .

ويجب أن يفى عنصر التثبيت المناسب لعجائن هاليدات الفضة بالمستلزمات الآتية : (١) يجب أن يكون قادرا على إذابة هاليدات الفضة تماما . (٢) يجب أن يكون مع الهاليدات أملاح تذوب فى محلول التثبيت نفسه ، وتبقى على حالتها المركبة عند تخفيفه ، حتى لا تنفصل وتتفكك عند الغسيل . (٣) يجب ألا يهاجم الجيلاتين . (٤) يجب ألا تؤثر بدرجة خطيرة على حبيبات هاليدات الفضة التى قد تعرضت للضوء .

وهناك مركبات عديدة تستطيع إذابة هاليدات الفضة ، ولكن أغلبها لا يفى

بكل الشروط الضرورية السابقة . ومن هذه المركبات مايلى : سلفيت الصوديوم ، والنوشادر ، وأيوديد البوتاسيوم ، والثيويوريا ، والسيانيد . ولكن المـــادة التى تفى بجميع المستلزمات السابقة هى الثيوسلفات فقط. وهى تفعل ذلك إلى الدرجة الكبيرة التى تجعلها جديرة بالاهتمام فى التصوير الفوتوغرافى عامة . وقد ثبت أن ثيوسلفات الصوديوم ص$_{٢}$ كب$_{٢}$ أ$_{٣}$. ٥ يد$_{٢}$ أ ــ وتيوسلفات الأمونيوم (ن يد$_{٤}$)$_{٢}$ كب$_{٢}$ أ$_{٣}$ أنسب المواد من الناحية العملية سواء من الوجهة الكيمائية أو الاقتصادية .

كيمياء عملية التثبيت :

يمكن وصف سلوك المركبات الشحيحة الذوبان جدا فى الماء مثل بروميد الفضة بمعادلة شبيهة جدا بتلك المعطاة فى الباب السابق لوصف تحلل الماء ، حيث :

$$(\text{ف}^{+}) \times (\text{بر}^{-}) = \text{مقدار ثابت}$$

ويعنى هذا، كما ذكرنا من قبل، أن حاصل ضرب تركيز أيون الفضة فى تركيز أيون البروميد مقدار ثابت . ومن ثم يؤدى إنقاص تركيز أيون الفضة الحر بأى طريقة من الطرق إلى زيادة تركيز أيون البروميد . مما يعنى إمكان إذابة قدر أكبر من الفضة .

وتتحد الثيوسلفات مع الفضة مكونة مركبات ثابتة جدا. ومن ثم فهى تنقص من تركيز أيون الفضة الحر فى المحلول . وكذلك يصبح من الممكن أن يستمر بروميد الفضة وهاليدات الفضة الأخرى فى الذوبان . ومن ثم فان ثيوكبريتات الصوديوم وثيوكبريتات الأمونيوم مادتان صالحتان للعمل كمذيبات لهاليد الفضة .

وتشير الدراسات الكيميائية إلى أنه من المحتمل تواجد مركبات عديدة لثيوسلفات الفضة فى محاليل التثبيت المستعملة ، وأن تركيبها يتغير بالتدريج كلما تمت إذابة كمية أكبر من هاليدات الفضة. وهذه المركبات قابلة للذوبان عامة فى حمام التثبيت وفى الماء . وهى لا تتحلل عند تخفيف المحاليل المحتوية عليها بالماء أثناء مرحلة الغسيل . ولكن هناك دليل مايؤكد أن أحد هذه المركبات المعقدة قد يكون أقل ذوبانا من الآخرين بعض الشيء ، أو على الأقل، لا تتم إزالته بنفس

السهولة بواسطة ماء الغسيل . ويتكون هذا المركب عندما يزداد التركيز الكلى للفضة فى المحلول عن حد معين . وسوف نناقش التأثيرات العملية لذلك فيما بعد .

مكونات أخرى :

تحتوى محاليل التثبيت العملية بالاضافة إلى ثيوسلفات الأمونيوم أو الصوديوم (واسمها هو الهيبو) المتمتعين بدرجة النقاء الفوتوغرافية ، على عدد من المكونات الأخرى التى تقوم بوظائف خاصة متنوعة .

الحامض :

يجب أن يكون محلول التثبيت قادرا على معادلة أى قدر من محلول الإظهار القلوى الذى قد يحمله الفيلم داخل طبقة العجينة الفوتوغرافية الموجودة عليه حتى نتجنب المشاكل المحتملة المختلفة . ولا بد من إضافة حامض إلى المحلول ليصبح قادرا على القيام بهذه المهمة . ولكن إضافة حامض قوى إلى محلول الهيبو ، قد تؤدى إلى تفكك الأخير (أى الهيبو) حيث يتحلل مكونا معلقا دقيقا من الكبريت فى المحلول . ويكتسب الفيلم الذى يتم تثبيته فى هذا المحلول مظهراً معتما عند تجفيفه ، إذ يقتحم الكبريت الغروى بناء العجينة الفوتوغرافية فى أثناء التثبيت . ولا يزيله الغسيل . ولا يمكن الحصول على طبعات عالية الجودة من مثل هذا الفيلم السالب المعتم . ولا يمكن طبعه فى أحسن الظروف إلا بصعوبة بالغة . ومن حسن الحظ ، أن الحامض الضعيف مثل حامض الخليك ، ينتج الكبريت الغروى ببطء شديد . ولذلك يمكن استعماله فى محلول التثبيت ، مع إضافة مادة حافظة تمنع انفصال الكبريت من الثيوسلفات .

المادة الحافظة :

تعتبر سلفيت الصوديوم ($ص_٢ كب أ_٣$) أكثر المواد الحافظة استعمالا ، إذ إنها تتفاعل فى المحلول مع الكبريت الغروى طبقا للمعادلة ، منتجة ثيوسلفات الصوديوم :

$$ص_٢ كب أ_٣ + كب = ص_٢ كب_٢ أ_٣$$

والواقع أن كيمياء هذه العمليات أكثر تعقيداً مما توضحه المعادلة ، ولكن هذه المعادلة تعتبر تمثيلا كافياً للنتيجة النهائية .

ملحوظة :

يستخدم ، سلفيت الصوديوم كمادة حافظة في محاليل الإظهار الفوتوغرافية أيضاً ، ولكن فعلها فى هذه الحالة يختلف تماماً عن فعلها فى محاليل التثبيت .

المادة المكسبة للصلابة :

تحتوى محاليل التثبيت عامة على مادة مكسبة للصلابة . وذلك لمنع الانتفاخ والتطرية الزائدين اللذين قد تعانى منهما العجينة الفوتوغرافية فى أثناء الغسيل ، وما يترتب على ذلك من خطر إصابتها بالضرر الميكانيكى . وشب البوتاش هو أكثر المواد المكسبة للصلابة شيوعاً فى الاستعمال لهذا الغرض .

المواد المنظمة للتغير فى قيمة الأس الأيدروجينى :

يجب أن يقدر محلول التثبيت —حتى يكون أكثر فائدة من الناحية العملية — على احتمال التأثير الناتج من إضافة كمية جديرة بالإعتبار من محلول الإظهار إليه ، بدون أن يعانى إلا من مجرد تغيير طفيف فى قيمة الأس الأيدروجينى ، أى أن المحلول يجب أن يحتوى على مادة منظمة للأس الأيدروجينى ، وأن يحتوى فى نفس الوقت على احتياطى كبير من الحامضية . ومن ثم يستخدم حامض الخليك وسلفيت الصوديوم بكميات كافية وصحيحة من حيث نسبهما ، للوفاء بهذه المستلزمات. وكذلك يترتب على إضافة المادة المكسبة للصلابة ، مثل شب البوتاش ، حدوث تأثير محدد على عملية تنظيم الأس الأيدروجينى للمحلول . ولذلك يستعمل حامض البوريك بالإضافة إلى حامض الخليك لتحسين التأثير المنظم والصفات المميزة لمقاومة تكون الطين أو الغرين فى المحلول .

ومن الهام فى التطبيق العملى ، أن تتوافر محاليل تثبيت تتمتع بالصفات العامة الآتية : منع تكون الكبريت الغروى فى المحلول ، نشوء الحد الأدنى من كمية الطمى (الغرين) بالمحلول ، وأن تحتوى على مواد تنظم التغيرات التى تلم بالأس الأيدروجينى فى نطاق المدى الذى يظل فيه شب البوتاش عاملا فعالا من حيث مقدرته على إكساب الصلابة .

أنواع محاليل التثبيت :

يمكن تصنيف محاليل التثبيت بناء على تركيبها الكيميائى إلى ثلاث فصائل عامة : محاليل التثبيت القراح ، ومحاليل التثبيت الحامضية ، ومحاليل التثبيت الحامضية التى تكسب الجيلاتين صلابة . وتحتوى محاليل التثبيت القراح على الهيبو فقط بدون أية مكونات أخرى معه . وتصل قيمةالأس الأيدروجينى لهذه المحاليل إلى حوالى ٥.٢ . وحيث إن محاليل الهيبو القراح لا تحتوى على مواد منظمة ، فان التغيرات فى قيمة الأس الأيدروجينى تكون سريعة جداً ، ولا يقبل المحلول التلوث بالقدر الكبير من محاليل الإظهار أو الإيقاف . إذ إن محلول الإظهار يرفع الأس الأيدروجينى بسرعة ، وبالتالى لايستطيع المثبت أن يوقف عملية الإظهار بالكيفية الفعالة المطلوبة . بينما يؤدى التلوث بمحلول الإيقاف إلى خفض قيمة الأس الأيدروجينى بسرعة ، ويتكون الكبريت الغروى فى محلول التثبيت . وتعتبر هذه الفصيلة غير كافية ، من وجهة النظر العملية ، لتشغيل كميات كبيرة من الفيلم أو الورق . وهى فى الحقيقة أكثر نفعاً فى أعمال التجارب التى تقتضى تثبيت شريحة اختبار واحدة أو لوح فوتوغرافى واحد فى المحلول ، ثم إهماله بعد ذلك .

حمامات التثبيت الحافظية :

وفيها تضاف إلى الهيبو كمية من سلفيت الصوديوم ، وحامض الخليك بهدف زيادة الحياة النافعة لمحلول الهيبو . وأحياناً تستعمل مادة باى سلفيت الصوديوم Sodium Bisulphite بدلا من حامض الخليك فى هذه المحاليل . فهى ملح حامض كما يتضح من رمزه الكيميائى (ص يد كب أ٣) . ومن أمثلة هذه الفصيلة محلول التثبيت كوداك ف — ٢٤ .Kodk Fixing Bath F—24 . وتتراوح قيمة الأس الأيدروجينى لهذا النوع من المحاليل فيما بين ٤,٦ و ٥,٠ تقريباً .

ويعتبر هذا النوع من المحاليل ذا فائدة ، عندما لا تكون هناك حاجة إلى إكساب العجينة الفوتوغرافية صلابة إضافية . وينصح باستعمالها خاصة فى بعض التطبيقات الفوتوغرافية التى تتطلب إجراء عمليات غسيل سريعة . ومهما كان الأمر ، فان محاليل التثبيت الحامضية المكسبة للصلابة تستخدم فى تثبيت كل من الأفلام والأوراق .

المحاليل الحامضية المقوية للجيلاتين :

وأكثر محاليل هذه الفصيلة شيوعاً فى الاستعمال هى تلك المحتوية على شب البوتاش والتى يتم تركيبها بحيث تصل قيمة الأس الأيدروجينى المميزة لها إلى ٤,١ تقريباً . وعند هذه القيمة المنخفضة للأس الأيدروجينى تتميز محاليل التثبيت بحياة نافعة أطول بكثير من تلك التى تتميز بها المحاليل ذات القيم الأعلى للأس الأيدروجينى . وهى ذات أهمية فى عمليات التشغيل المتسعة النطاق للصور السالبة والموجبة . ويؤدى احتواء محاليل التثبيت على حامض البوريك إلى تزويدها أساساً بصفات تقوية للجيلاتين وإلى تحسين الصفات المميزة لحياتها النافعة . وكنموذج لهذه المحاليل حمام التثبيت كوداك ف — ٥

حمام التثبيت كوداك ((ف — ٥)) Kodak Fixing BathF—5 :

ويوصى باستخدام هذا الحمام فى الأغراض العامة ، وفى الحالات التى تميل فيها الصور الموجبة المطبوعة على الورق إلى الالتصاق بشرائط أو إطارات أدوات التجفيف ، أو فى الحالات التى تلين فيها فى أثناء عمليات التلوين فيما بعد. ويمتاز هذا الحمام عن النماذج القديمة من محاليل التثبيت التى لا تحتوى على حامض البوريك، بأنه يعطى صفات تقوية أفضل بكثير ، وبأنه أقل ميلا إلى ترسيب سلفيت الألومنيوم كطمى (غرين) فى المحلول .

	بوحدات Avoirdupois U.S. Liquip	بالوحدات المترية
الماء عند درجة حرارة ١٢٥ فهرنهتى (٥٠°م)	٨٠ أوقية	٦٠٠ سم ٣
ثيوسلفات الصوديوم (الهيبو)	٢ رطل	٢٤٠ جرام
سلفيت الصوديوم المجففة	٢ أوقية	١٥ جرام
حامض الخليك ٢٨ ٪	٦ أوقية	٤٨ سم ٣
بلورات حامض البوريك	١ أوقية	٧,٥ جم
شب البوتاش	٢ أوقية	١٥ جم
يضاف ماء بارد لتكملة الحجم إلى	جالون واحد	لتر واحد

وعند التشغيل فى المناطق الحارة ، أوعند درجات الحرارة المرتفعة ، قد لايستطيع محلول التثبيت المحتوى على شب البوتاش أن يكسب العجينة الفوتوغرافية قدراً مناسبا من الصلابة .

ويوصى فى بعض هذه الحالات باستعمال محاليل التثبيت المحتوية على شب الكروم لأن قدرته على إكساب الصلابة الجيلاتين أكبر من قدرة شب البوتاش على ذلك . ولكن هناك بعض المصاعب العملية التى لا يمكن تحاشيها عند استعمال المحاليل المحتوية على شب الكروم . فلا بد فى حالة استخدامه أن تتم المحافظة على قيم الأس الأيدروجينى فيما بين ٣,١ ، ٣,٨ ، حتى لا يتكون راسب جيلاتينى من أيدروكسيد الكروم [كر (أ يد)٣] إذا زادت قيمة الأس الأيدروجينى عن ٣,٨ ، ومن الصعب إزالة هذا الراسب من على أسطح الأفلام . ويقتضى الحصول على ذلك المدى من الأس الأيدروجينى ، أن يتم استعمال حامض قوى مثل حامض الكبريتيك . ويتمتع المحلول بفعل تنظيمى ، إلا أنه ومن الصعوبة أن تتم المحافظة فى التطبيق العملى على هذه المراقبة الحازمة للأس الأيدروجينى . كما أنه قد ثبت أن هذه المحاليل تتغير بمرور الزمن ، حتى وإذا لم تدخل فى تركيبها مواد جديدة نتيجة لما يحمله الفيلم إليها من المحاليل التى مر بها قبلها .

ولا تستعمل حمامات التثبيت المحتوية على شب الكروم فى عمليات تثبيت الصور الفوتوغرافية المطبوعة ، لأن اللون الأخضر المميز لمحاليلها يستطيع أن يصبغ الورق بلون غير مرغوب فيه ، ولأن هذا النوع من المواد الفوتوغرافية لا يحتاج عادة إلى ذلك القدر الزائد من التقوية الذى يوفره محلول الكروم ، إذ يتم إكساب العجائن الفوتوغرافية المستخدمة فى صناعة الورق قدراً مناسباً من الصلابة فى أثناء التصنيع .

الزمن اللازم لتثبيت الأفلام أو أوراق الطبع :

يوصى مصنعو المواد الفوتوغرافية والكيماويات فى نشراتهم المطبوعة بالأزمنة التى يجب أن يتم تثبيت منتجاتهم عليها . وتقوم هذه التوصيات على النتائج التى تستخلصها المعامل الفوتوغرافية من التجارب ، وكذلك على الخبرة التجارية فى استعمال محاليل التثبيت . وتتميز جميع العجائن الفوتوغرافية المحتوية على هاليدات الفضة بأنها معتمة بسبب الهاليدات العالقة فيها . وتصبح العجينة الفوتوغرافية شفافة بعد قيام المثبت باذابة هاليدات الفضة . ويسمى الزمن اللازم لمعالجة عجينة فوتوغرافية معينة فى محلول التثبيت حتى تصبح شفافة بزمن التوضيح ، وهو بمثابة الأساس الذى تبنى عليه أزمنة التثبيت .

ومن الوجهة الكيميائية تذوب الهاليدات فى محاليل التثبيت مكونة مركبات فضة معقدة . ولكن بعض هذه المركبات غير قابلة للذوبان فى الماء ، ولا يمكن إزالته من على الفيلم فى أثناء الغسيل .

ومن ثم يجب معالجة العجينة الفوتوغرافية فى محلول التثبيت لفترة زمنية طويلة بالقدر الذى يكفى للتأكد من تكوين المركبات القابلة للذوبان فى الماء . ويمكن ضمان ذلك عامة بالسماح ، للفيلم بالبقاء فى محلول التثبيت زمناً يساوى ضعف ذلك الزمن اللازم لتوضيحه . ومن الجدير بالذكر أن زيادة زمن المعالجة فى محلول التثبيت إلى ما بعد زمن التثبيت المحسوب على الأساس السابق لا تؤدى إلى إضفاء أى قدر أكبر من السهولة على عملية إزالة مركبات هاليد الفضة ، بل إنها ، قد تجعل عملية الإزالة أكثر صعوبة فى حالة الورق .

وقد وجد على هذا الأساس أنه يمكن تثبيت الأنواع المختلفة التالية من العجائن الفوتوغرافية على الأزمنة المبينة قرين كل منها :

أوراق الطبع	من ٤٥ إلى ٧٠ ثانية
الأفلام الموجبة	من ٤٥ إلى ٦٠ ثانية
الأفلام السالبة	من ٢ إلى ٧ دقائق

ويعتمد الزمن اللازم للتوضيح على كثافة طبقة العجينة الفوتوغرافية وبالذات على كمية هاليدات الفضة الموجودة داخلها . فمثلا تتميز العجائن الفوتوغرافية المستخدمة فى تصنيع أوراق الطبع بالتلامس بأنها رقيقة جداً ، وهى تحتوى عامة على كلوريد الفضة ، حيث تكون عادة على هيئة حبيبات أكثر دقة ، وأكثر قابلية للذوبان ، من حبيبات بروميد الفضة أو أيوديدها . والعجائن الفوتوغرافية السالبة أكثر سمكاً ، وتحتوى على بروميد الفضة ، وفى بعض الحالات تحتوى أيضاً على الأيوديد . وإذا أردنا الحديث بنوعية أكثر ، فان النوع الأزو من ورق كوداك Kodak azo Type يتم توضيحه فى فترة زمنية تنحصر فيما بين خمس عشرة ثانية وعشرين ثانية ، بينما يحتاج النوع تراى — اكس من الفيلم كوداك إلى زمن توضيح قدره ثلاث دقائق .

وكلما ازدادت كمية الأفلام التى يتم تثبيتها فى حمام ما ، ازدادت كمية الفضة التى تنشأ فيه ، بسبب احتوائه على مركبات الفضة المعقدة . والنتيجة هى أن يصبح

المحلول المثبت أكثر بطئا فى عمله ، مما يستدعى زيادة أزمنة التوضيح اللازمة لعجينة فوتوغرافية معينة . وهناك حدود لكميات الفضة المسموح بتواجدها فى المحلول المثبت . فعندما يصل تركيز الفضة إلى قدر معين، تتكون مركبات أقل قابلية للذوبان نسبيا، ولا يمكن إزالتها من على العجينة الفوتوغرافية بالغسيل . ومن ثم يجب التوقف عن استعمال محلول التثبيت قبل أن يصل إلى هذه الحالة . وفى ظل ذلك التغيير المستمر فى تركيب المحلول المثبت ، لا بد من زيادة زمن التثبيت الموصى به ، حتى يصبح على الأقل مساويا لضعف الزمن اللازم للتوضيح فى المحلول المستعمل .

ويحظى التقلب فى التثبيت – كما فى الإظهار – بأهمية كبيرة للغاية . ويجب المحافظة على الأفلام أو الأوراق المطبوعة منفصلة تماما عن بعضها فى أثناء التثبيت بحيث يكون سطح المادة الفوتوغرافية بأكمله فى تلامس مستمر مع المحلول . ولسوء الحظ أن هذه الطريقة لا تتبع دائما فى التطبيق العملى، مما يحتم ضرورة تضمين زمن التثبيت الموصى به على عامل أمان، أى أن يكون زمن التثبيت المستخدم أكبر من ذلك اللازم نظرياً. وذلك حتى نستطيع الحصول على نتائج عالية الجودة فى ظروف تشغيل لا يتوافر بها تقليب ملائم أو لا يمكن فيها فصل المواد الفوتوغرافية عن بعضها فى أثناء عملية التثبيت.

ومن ثم فان أزمنة التثبيت الموصى بها ، تزيد بقدر لا يمكن اغفاله عن ضعف الزمن اللازم للتوضيح للأسباب الآتية : (١) استمرار كمية الفضة التى يحتوى عليها المحلول المثبت فى الازدياد ، (٢) الحاجة إلى عامل أمان يسمح بالتشغيل فى ظروف تسودها فنيات صناعية فقيرة .

الحياة النافعة للمحلول المثبت

عندما تصل كمية الفضة بالمثبت إلى الحد المسموح به ، يقال إن الحمام قد أصبح منهكاً . ويعنى هذا – من وجهة النظر العملية – أنه يمكن تشغيل مساحة معينة من الفيلم أو الورق قبل التخلص من المحلول. ويقدر المصنعون فى أغلب الأحيان مدى طول الحياة النافعة لمحاليل التثبيت بدلالة عدد اللفات أو الألواح التى يمكن تثبيتها فى الجالون الواحد من المحلول عادة . ولا يجب اعتبار تلك الأرقام أكثر من مجرد أرقام تقريبية ، تستخدم كدليل بالنسبة للفنى للقائم بالتشغيل ، لأنه

من المستحيل بالنسبة للمصنع ، أن يتم التنبؤ بالضبط بكمية الفضة التى سوف نضيفها إلى المثبت كل لفة أو لوحة من المواد الفوتوغرافية . .

فمثلا إذا كانت الصور التى يتم تثبيتها عبارة عن لوحات خطية أو رسوم منسوخة ، فان أغلب هاليدات الفضة الموجودة على المادة الفوتوغرافية سوف تستقبل تعريضاً ضوئياً ، ولا يحرم من الضوء إلا تلك المساحات التى تنتمى إلى الخطوط فقط . ومن ثم يتم إظهار أغلب هاليدات الفضة التى تحتوى عليها العجينة الفوتوغرافية حيث تختزل إلى فضة معدنية ، ولا تذوب فى الهيبو إلا كمية قليلة جداً من هاليدات الفضة . وفى الناحية الأخرى فان صورة سالبة لجسم صغير موضوع أمام خلفية سوداء ، سوف تستغل من حيث المقارنة ، كمية صغيرة من الفضة فى الصورة ، وتذوب فى المحلول المثبت كمية أكبر من هاليدات الفضة . وبناء عليه فان تركيز الفضة بالمحلول المثبت فى الحالة الأخيرة سوف يصل إلى الحد المقرر بعد تشغيل ، عدد أقل من الألواح الفوتوغرافية .

وهناك عامل هام آخر ، يؤثر على الحياة النافعة للمثبت ، هو تخفيف المحلول بما يحمله إليه الفيلم ، سواء من المظهر أو من محلول الإيقاف .

ويستطيع التخفيف أن يؤثر على الحياة النافعة لمحلول التثبيت ، بسبب انخفاض تركيز المواد الكيماوية به . كما قد تتأثر طاقته المنظمة ، وينقص معدل التثبيت .

ويمكن إجراء اختبارات بسيطة سهلة على المحلول المثبت لتحديد كمية الفضة التى يصبح المحلول — عند احتوائه عليها — منهكا ، مما يترتب عليه ضرورة التخلص منه . وتتجلى الفائدة الأساسية التى يحققها هذا الاختبار فى السماح باستعماله إلى أقصى حد ممكن ، مع ضمان استمرار قدرته على التثبيت الجيد تحت أى ظروف عمل نوعية . . ويجب أن يتم تصميم أى اختبار للفضة بحيث يبين بالضبط متى يصل تركيز الفضة بحمام التثبيت إلى الحد الذى لا يستطيع بعده إزالة مركبات الفضة بسهولة من على الفيلم ، أو من على الصورة الموجبة . وعند تجاوز هذا الحد يصبح من السهل تلوث المواد الفوتوغرافية بصبغات غريبة فى أثناء معالجتها فى حمام التثبيت . وقد وجد أنه بالنسبة للمحاليل المخصصة لتثبيت الصور المطبوعة على الورق ، يمكن السماح لتركيز الفضة فى المحلول المثبت بالازدياد

حتى يصل إلى ٢ جم فى اللتر . وحينئذ يجب التخلص من المحلول ، والكف عن استعماله . وتمدنا ربطة كوداك Kodak Outfit المخصصة لاختبار محاليل الإيقاف والتثبيت المستعملة فى تشغيل أوراق الطبع ، بوسيلة ممتازة لاختبار هذه الحالة . فعندما تضاف قطرات منها إلى محلول التثبيت المطلوب اختباره يتكون راسب أصفر ثقيل يظهر تلقائيا عند التركيز السابق . ولا تشير أغلب الاختبارات الموصى بها فى الابحاث الفوتوغرافية ، لهذا الهدف ، إلى الحد الأقصى لكمية الفضة المسموح بها ، ولكنها تشير عادة إلى تركيزات أقل بكثير . ويترتب على هذا أن يتم التخلص من المحلول قبل استغلاله لآخر درجة ممكنة .

ويعتبر قياس الفترة الزمنية اللازمة للتوضيح أكثر الاختبارات كفاءة من حيث المقدرة على تحديد فترة الحياة النافعة للمحلول المثبت . وينقص معدل التثبيت ، كلما ازدادت كمية الفضة فى محلول التثبيت . وبالتالى يزداد الزمن اللازم للتوضيح . ويمكن تقدير حالة المحلول المثبت بالنسبة لتركيز الفضة عن طريق استعمال شرائح اختبارات فيلمية قياسية ، يكون زمن التوضيح اللازم لها عند الحد الخطر للفضة معروفا . وتحتوى حمامات ثيوسلفات الصوديوم عادة على حوالى ستة جرامات من الفضة فى اللتر . وعند ما يأتى الاختبار السابق إيجابيا ، تكون كمية الفضة التى تحتوى عليها حمامات ثيوسلفات الصوديوم هى ستة جرامات من الفضة فى اللتر عادة .

وهناك تغيرات أخرى قد تلم بمحلول التثبيت فى أثناء الاستعمال فالفيلم يحمل معه المحلول المظهر إلى حمام التثبيت عند عدم وجود حمام شطف مائى بينهما . والمحلول المظهر شديد القلوية دائما ، وإذا انتقل بكمية وافرة إلى المثبت فانه سوف يستهلك كل الحامض الموجود فيه . وتتوقف كمية المحلول المظهر التى يحملها الفيلم معه إلى المثبت على الفنية الصناعية[١] المتبعة فى تداول الفيلم . ومن البديهى أن تلوث حمام التثبيت بالمحلول المظهر يؤدى إلى حدوث تغيرات كبيرة فى قيمة الأس الأيدروجينى للمثبت . ونظرا لأن قيمة الأس الأيدروجينى هى الوسيلة المتاحة للتحكم فى الفعل المقوى للشب فى المثبت ، فان تغيير قيمة الأس الأيدروجينى تغير من مقدرته على إكساب

---

(١) أوردنا اصطلاح الفنية الصناعية هنا كترجمة لكلمة Technique (المترجم)

الصلابة للجيلاتين. وعندما تزداد قيمة الأس الأيدروجيني إلى ما بعد ٥,٥ ، تقل مقدرة المادة المكسبة للصلابة على مزاولة عملها .

وحينئذ يجب التخلص من المحلول ، أو إضافة مزيد من حامض الخليك إليه لضبط قيمة الأس الأيدروجيني حتى يستطيع الشب إكساب الصلابة للجيلاتين . ولهذا السبب يعتبر استعمال محلول شطف حامضي Acid Rinse قبل التثبيت نصيحة عملية جديرة بالتنفيذ ، إذ إنه يعادل القلوى الموجود فى محلول الإظهار قبل أن تصل الأفلام أو الأوراق إلى خام التثبيت .

ويجدر بنا أن نشير إلى أن هناك عدة معايير قد تم اقتراحها لتقدير مدى إنهاك المثبت . وهى تتعلق بتكون الرغاوى أو الزبد على سطح المحلول ، أو بملمس المحلول . ولكنها تحدد هذا الإنهاك بدرجة كافية من الدقة . إذ إن قيمة الأس الأيدروجيني قد تبقى عالية جدا عند حدوث هذه الرغاوى أو الزبد ، وبالقدر الذى يسمح للشب بإكساب الصلابة للجيلاتين .

مقارنة بين ثيوسلفات الأمونيوم وثيوسلفات الصوديوم :

أوصى باستعمال ثيوسلفات الصوديوم كعامل تثبيت فى عام ١٨٣٧ . وأكدت التجربة أن محاليل التثبيت المحتوية عليه هى أكفأ محاليل التثبيت عمليا واقتصاديا . ومنذ سنوات قليلة مضت توافرت ثيوسلفات الأمونيوم فى الأسواق ليس على الهيئة المتبلرة ، ولكن كمحلول تركيزه ستون فى المائة . وعندما استعملت ثيوسلفات الأمونيوم بدلا من ثيوسلفات الصوديوم وجد أنها تثبت هاليدات الفضة بسرعة أكبر ، وبناء عليه ينقص زمن التثبيت بمعدل خمسين فى المائة بالنسبة لبعض المواد السالبة . وكان ذلك ذا أهمية فى تلك التطبيقات التى تتطلب تشغيلا أكثر سرعة . وبذلك عرف التصوير الفوتوغرافى حمامات التثبيت السريعة .

ويجب أن تستعمل هذه الحمامات بعناية أكبر ، حتى لا تنتج أضرارا بسبب نشاطها الزائد. وإذا تركنا الفيلم أو الورق المطلوب تثبيته مغموراً فى المثبت العادى لمدة طويلة جدا ، فان الهيبو قد يبدأ فى إذابة الفضة من المساحات ذات الكثافة المنخفضة فى الصورة ، ولا سيما إذا كان حمام التثبيت طازجا. ويحدث هذا التأثير بسهولة أكبر مع العجائن الفوتوغرافية الدقيقة الحبيبات مثل العجائن الفوتوغرافية لأوراق الطبع بالتلامس المحتوية على كلوريد الفضة .

أما فى حمامات التثبيت المحتوية على ثيوسلفات الأمونيوم فانه يحدث بسهولة أكبر بكثير . وكنتيجة لذلك تستعمل حمامات التثبيت السريعة عادة عند درجتى تخفيف مختلفتين ، إحداهما للأفلام ، والأخرى لأوراق التصوير (أى أوراق الطبع) . فمثلا يتم تخفيف مثبت كوداك السريع Kodak Rapid Fixer بثلاثة أجزاء من الماء عند استخدامه فى تثبيت الأفلام ، وبسبعة أجزاء من الماء عند استخدامه فى تثبيت أوراق التصوير .

وقد ثبت أن هذه المحاليل تستطيع عند تلك الدرجات المنخفضة من التركيز ، ولا سيما بالنسبة لأوراق التصوير ، أن تقوم باذابة الصورة الفضية بسرعة أكبر من التى تذيبها بها محاليل ثيوسلفات الصوديوم العادية .

ومن الوجهة الكيمائية ، تتحد ثيوسلفات الأمنيوم أيضا مع هاليدات الفضة منتجة مركبات الفضة المعقدة فى المحلول المثبت الذى قد ذابت فيه هاليدات الفضة من على العجينة الفوتوغرافية . ولكن المركبات المعقدة القابلة للذوبان التى تتواجد فى هذه الحمامات تكون بكميات أكبر من تلك التى تتواجد بها فى حمامات ثيوسلفات الصوديوم عند ما يصل تركيز الفضة إلى ستة جرامات فى اللتر . والواقع أنه قد يتجمع فى حمام التثبيت المحتوى على ثيوسلفات الأمونيوم ، ضعف هذه الكمية من الفضة ، ويظل المحلول قادرا على إذابة هاليدات الفضة ، حيث تتفاعل مع مادة التثبيت به ، مكونا أملاح (مركبات) الفضة المعقدة التى يمكن إزالتها من على الفيلم بالماء فى عملية الغسيل التالية . ويعتبر زمن الغسيل أفضل مقياس للحكم على درجة إنهاك هذه المحاليل بالنسبة لقدرتها على تثبيت الأفلام . فاذا وجدنا أن زمن التوضيح اللازم لنوع معين من الأفلام بالذات ، قد ارتفع إلى ضعف المعدل الطبيعى فى حالة استعمال المحلول الطازج ، فانه يمكن اتخاذ تلك الزيادة بمثابة دليل على وصول محلول التثبيت إلى نقطة الإنهاك العملية .

مشكلة عمليـة :

غالبا ما نجد من يطرح السؤال التالى : هل يمكن استعمال نفس حمام التثبيت فى تثبيت كلا الأفلام والأوراق ؟ والإجابة هى : لقد اتضح لنا من مناقشة الحياة النافعة لحمام التثبيت أن أوراق التصوير لا يمكن تثبيتها بالقدر المناسب فى المحاليل

المحتوية على كمية من الفضة تزيد على تلك التى تتراوح فيما بين ١,٥ إلى ٢ جم فى اللتر . ومن ثم فانه يمكن تثبيت كل من الأفلام وأوراق التصوير فى نفس المحلول ما دام تركيز الفضة بالمحلول لم يصل بعد إلى ذلك القدر. وحينئذ لا يمكن استعمال المحلول إلا فى تثبيت الأفلام فقط . ويمكن الاستمرار فى استعماله حتى يصل إلى نقطة الإنهاك .

والطريقة الوحيدة التى يمكن التأكد بها من أن المثبت المنهك قد أصبح غير قادر على تثبيت أوراق التصوير ، هى اختبار المحلول بالنسبة لكمية الفضة به ، «بالكاد» قبل استعماله فى كل مرة .

ويحظى هذا الاختبار بأهمية كبيرة ، ولا سيما عند الرغبة فى الحصول على صور يمكن حفظها لفترة زمنية طويلة . وتستدعى إقامة طريقة نوعية معينة للتشغيل ، أن نتم مراقبة كمية الفضة بواسطة الاختبارات السابق ذكرها . وتتلخص الفائدة الوحيدة التى نجنيها من هذه الاختبارات ، فى هذه الحالة ، فى تحديد كميات الفيلم أو الورق التى يمكن تشغيلها فى المحلول قبل انتهاء فترة حياته النافعة .

التثبيت فى حمامين :

يجب دائما بذل الجهد اللازم لتوفير أفضل الظروف للتثبيت المكتمل للصور والأفلام بصرف النظر عن الهدف التى تعد تلك الصور والأفلام من أجله . وقد يصبح ذلك الشرط إلزامياً فى كثير من التطبيقات الفوتوغرافية حتى يمكن تحقيق المواصفات المعينة المميزة للتسجيلات الفوتوغرافية الدائمة . وتعتبر طريقة استخدام حمامى تثبيت ، من أفضل الطرق لتحقيق ذلك وأكثرها اقتصادا .

وتستوجب أكثر الفتيات الصناعية شيوعا فى مجال التطبيق العملى ، أن يتم تثبيت الأفلام أو الصور فى المحلول الأول ، ثم نقلها إلى المحلول الثانى. ويعنى هذا أن جميع هاليدات الفضة التى لم تستقبل تعريضا ضوئيا تذوب فى المحلول الأول ، مما يؤدى إلى تجمع القدر الأكبر من الفضة فيه . وتزول فى المحلول الثانى أى آثار من مركبات الفضة المتخلفة على العجينة الفوتوغرافية ، وبذلك نضمن اكتمال التثبيت لشدة قابلية مركبات الفضة المتكونة على العجينة الفوتوغرافية ، للذوبان

فى الماء ، ومن ثم يسهل إزالتها بالغسيل . ويستعمل المحلول الأول حتى يصل إلى نقطة الإنهاك فيتم التخلص منه . وعندئذ يحل الحمام الثانى محل الأول ، ويستبدل به هو نفسه حمام جديد . ويمكن إعادة هذه الدورة عدة مرات حتى تصل كمية الفضة المسموح بها فى المحلول المثبت إلى الحد الأقصى . وفى العادة يتم تشغيل ما يتراوح بين ثمانى إلى عشر بوصات من الفيلم أو أوراق التصوير فى الجالون الواحد من المثبت قبل تغيير الحمامات . ويمكن تحديد الكمية بالضبط بناء على توصيات الشركة المصنعة . كما أن دورات استبدال المحلول الثانى بالأول لا تتجاوز الخمس مرات خلال الأسبوع الواحد . وإذا زادت فترة الاستعمال عن الأسبوع الواحد ، فانه يجب تغيير كلا الحمامين فى نهاية الأسبوع . وقد يؤدى استعمال هذه الفنية الصناعية (أى حمامى التثبيت) إلى خفض نفقات التشغيل بمقدار النصف .

استخلاص الفضة من محاليل التثبيت المستعملة :

يمكن إطالة الحياة النافعة لمحلول التثبيت إذا توافرت بعض الوسائل اللازمة لإزالة الفضة من المحلول المثبت . وهذه مسألة هامة فى عمليات التشغيل التى تستلزم استعمال حجوم كبيرة من محاليل التثبيت ، كما هو الحال فى المعامل السينمائية ، وفى المعامل الفوتوغرافية التى تقوم بتشغيل كميات كبيرة من الأوراق .

وتنحصر أنظمة استخلاص الفضة الشائعة الاستعمال فى نوعين اثنين : الأول منهما يستوجب الاستعانة بتيار كهربائى خارجى ، ويعرف عادة باسم نظام التحليل الكهربى المستمر ، ويستعمل فى الحالات المتعلقة بحجوم كبيرة من المثبت . والنظام الثانى هو ذلك الذى يقوم على قاعدة الإحلال المعدنى ، حيث تترسب الفضة الموجودة فى المثبت على سطح معدنى آخر يوضع فى المحلول . وقد أتيحت فى الأسواق وسيلتان تجاريتان لاستخلاص الفضة بطريقة الإحلال المعدنى . والوسيلة الأولى عبارة عن ظروف (أو خراطيش) مملوءة برادة معدن مناسب . وعند استخدامها يثبت الظرف على المنفذ الوحيد «بالتنك» المحتوى على الهيبو المراد استخلاص الفضة منه ويمر المحلول الخارج من «التنك» خلال الظرف ، وفى العادة يصرف المحلول إلى البالوعة بعد ذلك ، إذ إن هذه الوسيلة لا تتبع إلا فى الحالات المتعلقة بحجوم صغيرة من المثبت ، مما لا يفى بنفقات الضبط الكيميائى التى لا بد من إجرائها ، عند الرغبة فى إعادة

استعمال المثبت بعد استخلاص الفضة منه . والهدف من تجارب الضبط الكيميائى قبل الاستعمال ، هو إضافة الكمية اللازمة من الهيبو لتعويض النقص الناتج فى تركيزه بالمحلول نتيجة الاستعمال . وكذلك ضبط قيمة الأس الأيدروجينى للمحلول . أما الفضة التى ترسبت داخل الظرف فيتم تنقيتها بالعمليات الكيميائية اللازمة لاستخلاص معدن الفضة منها .

أما الوسيلة الثانية فهى عبارة عن استخدام قضبان معدنية مسطحة ذات تصميم مناسب للأطباق أو «التنكات» المحتوية على المحلول المثبت المراد استخلاص الفضة منه .

ويستمر استعمال كل قضيب منهما حتى يصل وزنه إلى حد معين ، فيرسل إلى أحد الشركات المتخصصة ، ليتم استخلاص الفضة من عليه بمعرفتها .

وما زال هناك نظام آخر يستخدم فى بعض المدن الكبيرة حيث تودع محاليل التثبيت المنهكة فى «تنكات» تخزين ثم تجمع بواسطة شركة مختصة باستخلاص الفضة.

ولا تستخدم الأنظمة التجارية لاستخلاص الفضة فى أى من الحالات إلا عندما يكون هناك عائد من الفائدة المادية من ورائها . أو بعبارة أخرى لا تصبح عملية استخلاص الفضة جديرة بالاعتبار إلاعندما تستطيع أن توفر بعضا من الربح الصافى بعد دفع نفقات التأجير أو الاستخدام .

الباب الثانى عشر

تشغيل المواد الفوتوغرافية العكسية

لقد ناقشنا إظهار الصورة على الفيلم السالب ، أو تلك المطبوعة على الورق من الفيلم السالب . وتنتج العملية العكسية صورة موجبة بدلا من الصورة السالبة، على نفس المادة الفوتوغرافية التى قد استقبلت التعريض الضوئى الأصلى . ومن ثم تلغى الحاجة إلى عملية الطبع اللازمة للحصول على الصورة الموجبة .

تنتج العملية العكسية صورة موجبة مباشرة ، أو بعبارة أخرى يتم الحصول على صورة تشبه الموضوع الأصلى . وهى تستخدم فى إنتاج الأفلام السينمائية للهواة ، وفى عمل الشفافيات الأبيض والأسود المستعملة فى العرض التليفزيونى ، والصور الموجبة المستخدمة فى إعادة الحصول على الرسوم الخطية فى مجال فنون الطباعة ، وبعض الأفلام السينمائية الملونة ، والشفافيات الملونة ، والطبعات الملونة .

وبالرغم من أن التحكم المناسب فى تعريض وإظهار الصور السالبة يعتبر أمرا مرغوبا فيه إذا أردت أن تحصل على صورة سالبة على درجة طيبة من الجودة ، فان حدوث بعض التغيرات فى التعريض ، أو فى ظروف التشغيل لا يحول دون إمكان ، استعمال الفيلم السالب فى إعداد طبعات منه[1] . ويسمح مدى التباين الذى توفره الأوراق الفوتوغرافية ، وإمكانية تغيير التعريض الضوئى المستخدم

(1) أى أن الفيلم السالب تسمح بطبعه بالرغم مما ألم بجودته من نقص .
(المترجم)

فى الطبع بتصحيح بعض الأخطاء التى قد ألمت بالفيلم السالب فى أثناء التعريض أو التحميض. أو بعبارة أخرى هناك مدى للتغير المسموح به فى تعريض وإظهار أغلب المواد السالبة .

وليست هذه هى الحالة فى تشغيل المواد العكسية ، لأن جودة الصورة تتوقف على الموازنة الصحيحة ، بين عمليتى التعريض والإظهار الأولين. ويؤدى حدوث أى خلل فى هذا التوازن ، إلى معاناة الصورة من نقص فى جودتها .

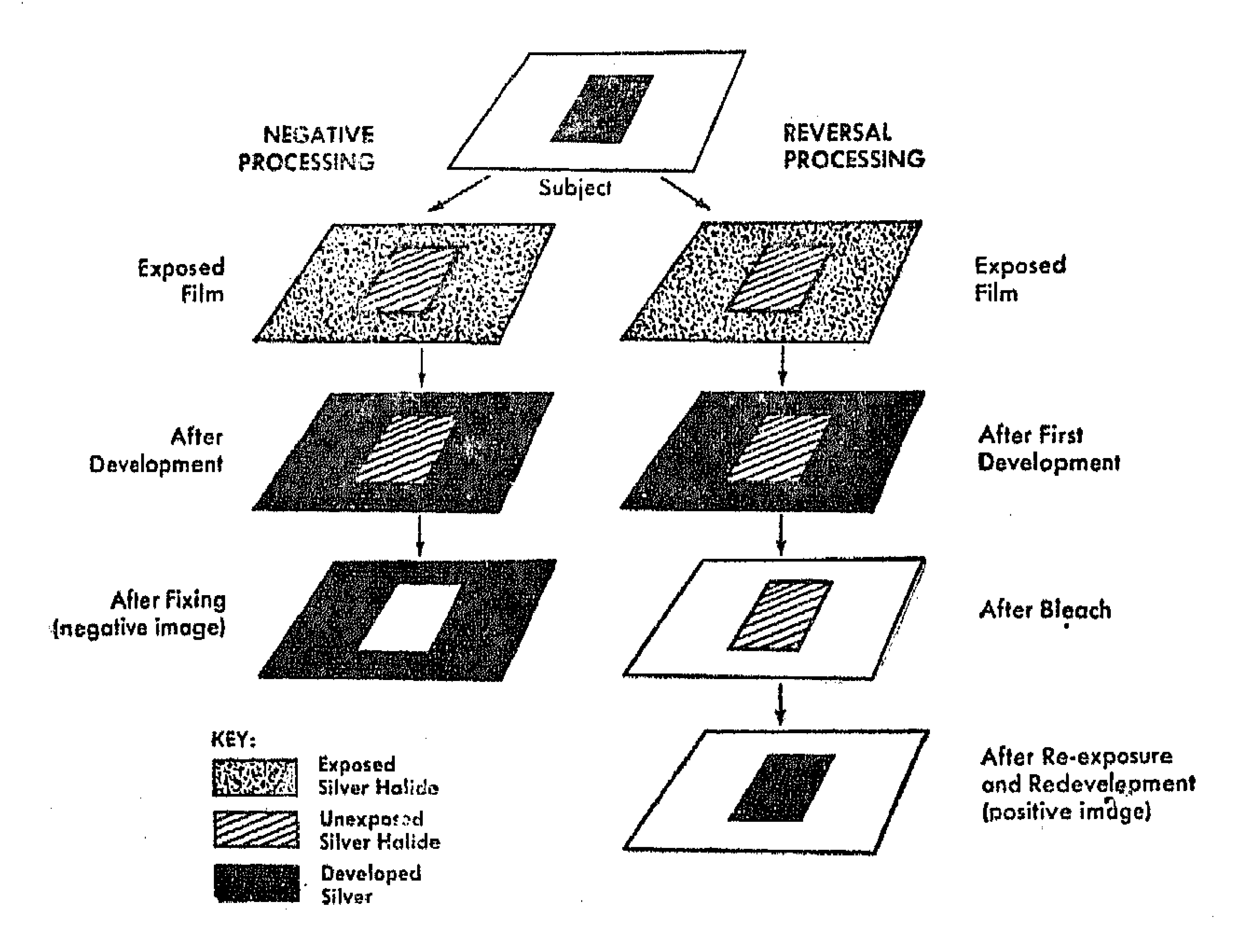
ونظراً لاعتماد جودة الصورة على ذلك التوازن بين التعريض الضوئى الأصلى (الذى يتم فى آلة التصوير) والإظهار الأول ، بجانب تأثير دقة خطوات عملية التشغيل الأخرى ، فان عملية التشغيل العكسى تحتاج إلى رقابة دقيقة ، ولهذا السبب يعمد أغلب مصنعى المواد الفوتوغرافية العكسية الأبيض الأسود أو الملونة ، إلى تشغيل أفلام عملائهم بأنفسهم . وفى السنوات القليلة الماضية أدت التحسينات التى ألمت بالمنتجات الفوتوغرافية ، وبتصميم أدوات التشغيل ، والفنيات الصناعية الخاصة بالتشغيل ، إلى تمكين العملاء من القيام بتشغيل أفلامهم بأنفسهم . ولكن المراقبة الدقيقة لظروف التشغيل ، ما زالت أكثر العوامل أهمية .

ويبين الشكل (رقم ٢٩) مقارنة بين نظامى تشغيل الأفلام — أى نظام السالب والموجب ، والنظام العكسى— من حيث الخطوات الأساسية . فعند تشغيل الصور السالبة أو الصور الموجبة المطبوعة منها ، نبدأ باظهار هاليدات الفضة التى قد استقبلت التعريض الضوئى . ثم نزيل تلك التى لم تتعرض للضوء فى حمام التثبيت .

أما فى التشغيل العكسى فنبدأ باظهار هاليدات الفضة التى قد تعرضت للضوء كما فى الحالة السابقة . ثم نزيل الصورة الفضية السالبة من على الفيلم فى محلول تبييض ، ثم يتم إظهار هاليدات الفضة المتبقية حيث تنتج صورة موجبة . ويمكن تنفيذ هذا عن طريق تعريض الهاليدات للضوء ، ثم معالجتها فى محلول إظهار عادى . وفى بعض الحالات يمكن الاستغناء عن مرحلة التعريض الضوئى الثانى ، باستعمال محاليل إظهار خاصة مسببة للضباب . وتقوم الأخيرة بجعل هاليدات الفضة المتبقية على الفيلم قابلة للإظهار ، أى تحولها إلى فضة ، بدون استقبالها للضوء .

ولا تتطلب عملية تشغيل المواد العكسية الملونة ، إزالة الصورة السالبة الفضية قبل عملية الإظهار الثانية . بل تترك على الفيلم الذى ينتقل بعد ذلك إلى محلول إظهار الألوان، حيث تنتج عليه صورة موجبة تتألف من الفضة والصبغة وبعد ذلك يتم إزالة كل من صورتى الفضة السالبة والموجبة ، فى محلول تبييض مناسب ، وتتبقى على الفيلم الصورة المطلوبة التى تتألف من الصبغات الملونة .

ولذلك فائدة جليلة إذ تتطلب إزالة الصورة الفضية السالبة (أى تلك التى تكونت فى حمام الإظهار الأول) استعمال محلول تبييض لا يؤثر على هاليدات الفضة المتبقية، واللازمة لتكوين الصورة الموجبة . ومن البديهى أن ذلك أمر مستحيل . أما إذا تم تأجيل مرحلة التبييض إلى ما بعد مرحلة الإظهار الثانى فلن تكون هناك حاجة إلى تقييد حمام التبييض بذلك الشرط . ويجب أن نتذكر أنه لا يمكن اتباع هذا التكنيك إلا فى حالة الأفلام الملونة ، حيث تتألف الصورة الموجبة من الصبغة فقط ، وليس من الصبغة والفضة .



الشكل رقم (٢٩)

مقارنة بين نظامى التشغيل السالب/الموجب والعكسى

محاليل التبييض :

إن الهدف من استعمال محاليل التبييض هو تحويل الصورة الفضية السالبة التى تكونت فى محلول الإظهار الأول ، إما إلى أملاح فضة قابلة قابلة للذوبان ، تستطيع الانتشار خارج العجينة الفوتوغرافية بسهولة إلى المحلول . وإما أن تتحول ، كما فى تشغيل المواد الملونة ، إلى أملاح فضة يمكن إذابتها فى محلول تال لحمام التبييض (وهو حمام التثبيت) .

ويحتوى محلول التبييض الشائع الاستعمال فى عمليات تشغيل المواد العكسية الأبيض والأسود على بيكرومات البوتاسيوم وحامض الكبريتيك . وفيه تتحول الصورة الفضية إلى مركب كبريتات الفضة القابلة للذوبان فيه ، والتى ينتشر أغلبها من العجينة الفوتوغرافية إلى المحلول . ويؤدى الغسيل المائى التالى لمرحلة المعالجة فى محلول التبييض إلى إزالة كل من كبريتات الفضة المتبقية والمواد الكيمائية الداخلة فى تركيب محلول التبييض من على الفيلم . ويمكن التعبير عن التفاعل الكيمائى الذى يتم فى محلول التبييض كما يلى :

٦ ف + بو$_{٢}$ كر$_{٢}$ أ$_{٧}$ + ٧ يد$_{٢}$ كب أ$_{٤}$

الصورة الفضية	بيكرومات البوتاسيوم	حامض الكبريتيك

= ٣ ف$_{٢}$ كب أ$_{٤}$ + كر$_{٢}$ (كب أ$_{٤}$) + بو$_{٣}$ كب أ$_{٤}$ + ٧ يد$_{٢}$ ا .

كبريتيات الفضة	كبرتيات الكروميك	كبريتات البوتاسيوم	الماء

ويعتبر هذا التفاعل من الوجهة الكيميائية ، عكس تفاعل الإظهار بالضبط ، وذلك لأن الفضة المعدنية تتأكسد إلى كبرتيات الفضة بواسطة البيكرومات فى المحلول الحامضى ، فى حين يتم اختزال بيكرومات البوتاسيوم ، إلى كبرتيات الكروميك . ويترتب على التبييض غير الكافى حدوث ملء غير مرغوب فيه لمناطق الإضاءة العالية فى الصورة (أى ظهور قدر من الكثافة) على هذه المناطق . ويعنى هذا بقاء بعض من فضة الصورة السالبة على الفيلم أو المادة الفوتوغرافية التى يجرى تحميضها .

ويجب أن تكون مادة التبييض المستخدمة فى حمامات التبييض المخصصة للأفلام العكسية الملونة قادرة على أكسدة الفضة فى وجود الهاليد ، بدون أن تهاجم الصورة

المتألفة من الصبغة . وتستطيع بعض المواد المؤكسدة ، مثل برمنجنات البوتاسيوم ، أو بيكرومات البوتاسيوم ، أن تهاجم الصورة المتألفة من الصبغة عادة . ولذلك يحتوى محلول التبييض الشائع الاستعمال فى عمليات تشغيل الأفلام الملونة ، على فيريسيانيد البوتاسيوم وبروميد البوتاسيوم . ويأتى ترتيبه عادة بعد الإظهار الثانى . ويقوم العامل المؤكسد بتحويل الفضة إلى بروميد الفضة ، ثم تتم إزالتها بعد ذلك فى محلول التثبيت بواسطة الهيبو . ويمكن توضيح تفاعل الفيريسانيد مع الصورة الفضية بالمعادلة التالية :

ف + ح (ك ن)٦ ــــ + بر ــ = ف بر + ح (ك ن)٦ ــــ

وتتأكسد الفضة المعدنية إلى أيونات الفضة التى تتحد مباشرة مع أيونات البروميد مكونة بروميد الفضة ، فى حين يتم اختزال الفيريسيانيد إلى الفيروسيانيد ، ويذوب بروميد الفضة فى حمام التثبيت الذى يلى حمام التبيض .

حمامات الغسيل بالرش :

يجب اتخاذ جميع الإجراءات التى تكفل عدم اختلاط المحاليل المختلفة المستخدمة فى عملية تشغيل المواد العكسية الأبيض والأسود والملونة ببعضها بعضا ، وتستطيع حمامات الغسيل برش المادة أن تقدم فائدة عظيمة جدا فى هذا الشأن ، بالرغم من أنهما تزيد من عدد خطوات عمليات التشغيل ، وبالتالى تطيل من الزمن الذى تستغرقه العملية .

وفى العادة تستخدم حمامات الشطف لازالة المواد الكيميائية التى قد امتصتها العجينة الفوتوغرافية فى أى محلول من المحاليل التى قد تمت معالجتها فيها لتحاشى التأثيرات غير المرغوب فيها فى الحمامات التالية . ويعتبر الماء القراح كافياً جدا للوفاء بهذه المهمة الأساسية . وفى الغالب قد تضاف إلى حمامات الشطف مواد كيماوية معينة لجعلها أكثر فاعلية ، من حيث المقدرة على وقف تأثير الحمام السابق ومعادلة أو إزالة المواد الكيماوية التى تتبقى على العجائن الفوتوغرافية .

وفى تشغيل الصور السالبة والصور الموجبة المطبوعة منها ، يستخدم حمام إيقاف حامضى عادة ، لوقف فعل الإظهار بسرعة وبدرجة سوية ، ولمنع تأثير محلول الإظهار القلوى على فعل حمام التثبيت المقوى للجيلاتين .

أما فى عمليات التشغيل العكسى ، فان كل عملية كيميائية تتلوها معالجة للمادة الفوتوغرافية فى حمام شطف ، ولو بمجرد الماء على الأقل . ومهما كان الأمر ، فان معالجة المادة الفوتوغرافية فى حمام التبييض المحتوى على البيكرومات لمسح الصورة الفضية التى قد تكونت فى عملية الإظهار الأولى تتبعها معالجة فى حمام من سلفيت الصوديوم ، أو باى سلفيت الصوديوم . ويسمى هذا الحمام بحمام التوضيح ، ويتلخص الغرض من استعماله فى التفاعل مع بقايا البيكرومات المتبقية على العجينة الفوتوغرافية حتى لا تعوق عملية الإظهار الثانية . ويتغير التركيب الكيميائى لهذا المحلول من نوع إلى آخر من الأفلام تبعاً لدورة التشغيل المستخدمة ، وبالذات نوع محلول التبييض المستخدم . ومن ثم يجب استعمال حمام التوضيح ، أو محاليل الشطف الأخرى الموصى بها فى كل عملية من عمليات تشغيل الأفلام العكسية بالذات .

وتتطلب عملية تشغيل المواد العكسية الأبيض والأسود أن يتم تعريض جميع هاليدات الفضة الموجودة على الفيلم للضوء ، فى عمليتى التعريض ، ثم يتم إظهارها فى حمامى الإظهار الأول والثانى . ومن ثم فلا داعى لمعالجة المادة الفوتوغرافية فى حمام تثبيت حسب النظام فى دورتى تشغيل الأفلام السالبة والموجبة حيث تؤدى المعالجة فى هذا الحمام إلى إزالة هاليدات الفضة التى لم يتم إظهارها . ولكن محلول الإظهار الثانى يتبعه حمام شطف ، لمعادلة المادة القلوية المتخلفة على المادة الفوتوغرافية بسبب معالجتها فى محلول الإظهار ، ولتقوية الجيلاتين الذى تحتوى عليه ، حتى يصبح أكثر قدرة على مقاومة الأخطار الميكانيكية التى قد يتعرض لها فى مراحل التداول التالية. وغالبا ما يكون الحمام المستخدم فى هذا الغرض محلول تثبيت حامضي مقوى للجيلاتين ، ويقوم صانع المادة الخام بتحديد نوعه وتركيبه .

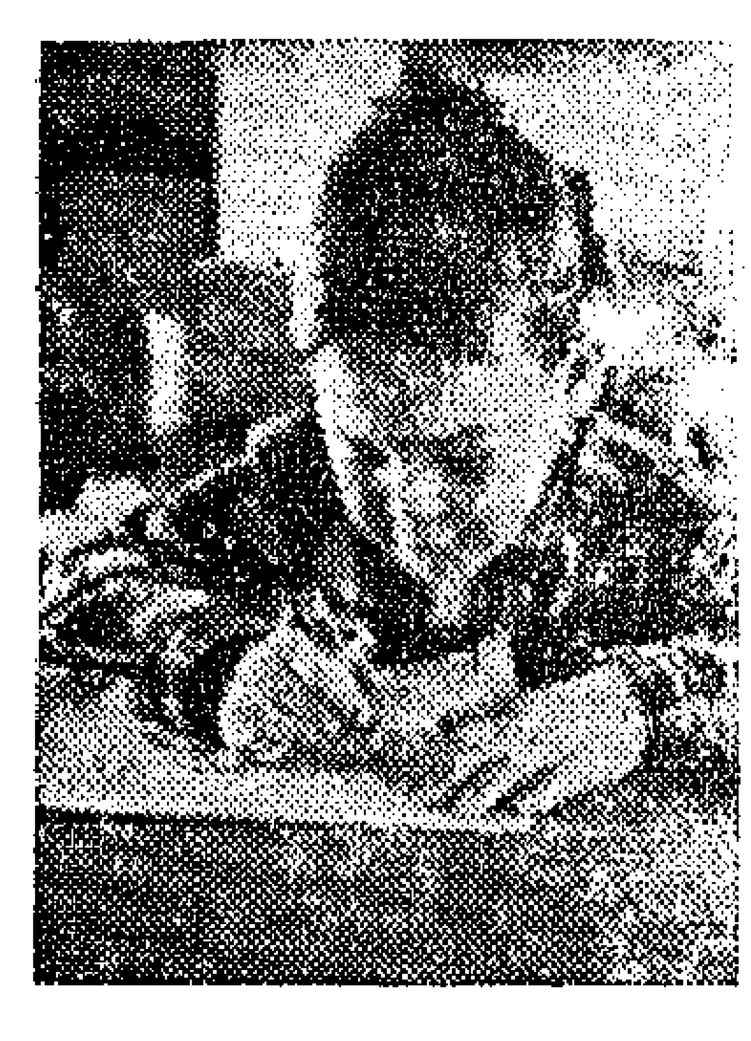
مراقبة عملية التشغيل العكسى :

لا يمكن أن ننصح باستعمال محاليل التشغيل المخصصة لأى نوع من الأفلام العكسية فى تشغيل الأنواع العكسية الأخرى . فمثلا لا يمكن استعمال محاليل تشغيل الفيلم العكسى الذى تصنعه شركة جيفارت ، فى محاليل تشغيل الفيلم العكسى الذى تصنعه شركة أورفو . ويجب أن تتم عملية التشغيل العكسية بجميع تفاصيلها — أى من

حيث تركيب المحاليل ، وأزمنة المعالجة ـ طبقا للتعليمات التى يصدرها صانع الفيلم الخام بالنسبة لكل نوع (أو ماركة تجارية) من أنواع الأفلام .

وهناك أنواع خاصة من العجائن الفوتوغرافية العكسية يتم تصنيعها طبقا لمقتضيات التصوير بالأبيض والأسود ، مثل أفلام الهواة الأبيض والأسود ، ويجب عند تشغيلها اتباع تعليمات صانع الفيلم الخام بحرص شديد .

فيجب أن يكون التعريض الضوئى صحيحا . إذ إن التعريض الزائد ينتج صورا رقيقة جدا . وهو إصلاح فوتوغرافى يعنى افتقار الصورة للتفاصيل فى مناطق الإضاءة العالية .


الشكل رقم (٣٠)

تأثير التغيرات التى قد تلم بالتعريض والاظهار فى دورة التشغيل العكسى

إلى اليمين : التأثير الناتج عن التعريض الضوئى الناقص ، أو المعالجة الناقصة فى محلول الاظهار الأول .

فى الوسط : صورة استقبلت تعريضا ضوئيا صحيحا فى آلة التصوير ثم عولجت بطريقة سليمة فى محلول الاظهار الأول .

إلى اليسار : التأثير الناتج عن التعريض الزائد ، أو المعالجة الزائدة فى محلول الاظهار الأول .

وحيث إن الصورة الموجبة تنتج من اختزال هاليدات الفضة التى قد بقيت على الفيلم بعد إظهار الصورة السالبة ، فان التعريض الضوئى الزائد يؤدى إلى إزالة الكثير من الفضة اللازمة للصورة الموجبة . وعلى نفس المنوال يترك التعريض الضوئى الناقص جدا ، كمية كبيرة جدا من الفضة على الفيلم لتكوين الصورة الموجبة ، مما يودى إلى أن تأتى هذه الصورة داكنة جدا .

ويجب أن نتذكر أن هذه التأثيرات هي بالضبط عكس ما نحصل عليه فى عمليات إظهار المواد الفوتوغرافية السالبة ، حيث ينتج التعريض الزائد مثلا ، صورة سالبة أكثر سوادا من تلك التى ينتجها التعريض العادى . ومدى التعريض الصحيح المميز للفيلم العكسى صغير جدا ، ويجب بذل كل جهد فى ضبط التعريض الضوئى بآلة التصوير حتى يمكن الحصول على نتائج طيبة بعد التشغيل طبقا للتعليمات الموصى بها من قبل صانع الفيلم الخام .

وتعتبر معالجة الفيلم فى محلول الإظهار الأول عملية حرجة ، ويجب الالتزام الدقيق بالتعليمات الخاصة بزمن الإظهار والتقليب . ويؤدى الإظهار الزائد ، والإظهار الناقص ، إلى حدوث تأثيرات مشابهة لتلك التى ينتجها التعريض الزائد والتعريض الناقص على الترتيب .

ويتوقف تحديد زمن الإظهار الصحيح عند درجة حرارة معينة ، على نوع آلة التشغيل المستعملة ، فهو يختلف بعض الشيء من آلة إلى الثانية ، أى إذا ما كان التشغيل يتم فى الإطباق ، أو فى تنك يسمح بلف بكرة مشحونة بالفيلم بداخله ، أو فى تنكات صغيرة ، أو فى جهاز التحميض الذى يسمح باعادة لف الفيلم بداخله . ويرجع السبب فى اختلاف أزمنة الإظهار من آلة إلى الأخرى ، بالرغم من ثبوت درجة الحرارة إلى اختلاف الدرجة التأثيرية لتقليب محلول الإظهار داخل كل آلة . ويجب على القائم بالتشغيل أن يتخذ التعليمات المنشورة عن الفيلم الذى يرغب فى تشغيله بمثابة دليل يسترشد بها على أن يبدأ بتنفيذها بدقة . وقد يحتاج الأمر إلى إجراء عدة تجارب للوصول إلى أسلوب التشغيل الصحيح بناء على المحاولة والخطأ . وبذلك يهتدى إلى معرفة مدى ما يجب أن يحيد به عن تعليمات مصنع المادة الخام ، حتى يستطيع الحصول على أفضل النتائج بالوسائل المتاحة له .

وكيفما كان الأمر ، فانه يمكن الحصول على نتائج طيبة ، فى الحالات التى يصدر صانع الفيلم الخام تعليمات بشأنها تتعلق بالتشغيل العكسى فى أداة تشغيل معينة ، إذا تمت مراقبة جميع العوامل بدقة طبقا للإرشادات الموصى بها .

وفى أغلب المراحل التى تأتى بعد الإظهار الأول ، يجب توفير الظروف التى تضمن استمرار التفاعل الكيميائى فى كل مرحلة حتى يكتمل تماماً .

ومن ثم لا تخطى عمليات مراقبة زمن المعالجة ودرجة الحرارة فى هذه الحمامات بقدر كبير من الخطورة ما دامت القواعد الثلاث الآتية تلقى عناية القائم بالتشغيل واهتمامه :

١ ــ عدم السماح للمحاليل الكيميائية بتلويث بعضها البعض .

٢ ــ مراعاة استعمال حمامات غسيل مناسبة بين مراحل المعالجة فى المحاليل المتنوعة التى تتطلب عملية التشغيل استعمالها لضمان زوال جميع المواد الكيميائية المتبقية على الفيلم قبل أن ينتقل إلى المحلول التالى .

٣ ــ السماح للفيلم بالبقاء فى كل محلول الفترة الزمنية الموصى بها .

ومن المحتمل أن تؤدى التغيرات التى قد تلم بظروف تشغيل الأفلام والمواد الفوتوغرافية الملونة فى أى مرحلة من مراحل التشغيل ، إلى حدوث بعض التغيير فى التوازن اللونى المميز لصور الصبغات النهائية الثلاث . ومن ثم يجب مراقبة درجة الحرارة ، وزمن المعالجة ، والتقليب فى جميع الخطوات . ويجب أن تبقى باستمرار داخل حدود التغير المسموح بها بالنسبة لكل نوع بالذات من أنواع العجائن الفوتوغرافية العكسية .

تقوية المحاليل :

يمكن إجراء عمليات التقوية لمحاليل الإظهار والمحاليل الأخرى بنجاح ، إذ أجريت الاختبارات المناسبة . ولهذا السبب لا يعتبر اتباع نظام التقوية بالخطوة العملية إلا فى عمليات التشغيل المستمرة التى يتم فيها تحميض كميات كبيرة من الأفلام . ومن الأفضل بالنسبة للهواة ، استعمال المحاليل الطازجة طبقا للتوصيات الواردة فى التعليمات المنشورة ، إذ إن المحاليل المنهكة غالبا ما تؤدى إلى الحصول على نتائج غير مقنعة .

الباب الثالث عشر

أنظـــمة الألوان العملية

تقوم أغلب العمليات الملونة الشـــائعة الاستعمال على نظرية الإظهار المقرن للصبغات . وهى تشتمل على كل من الأنظمة السالبة الموجبة ، والأنظمة العكسية .

تعتبر عملية الكوداكروم أولى عمليات الألوان التى قدحققت نجاحا متسعا . وهى عملية عكسية ، تعطى شفافيات موجبة على نفس الفيلم الذى قد استقبل التعريض الضوئى فى آلة التصوير . وهى تقوم على الإظهار الملون ، مع وجود مقرنات (أو مكونات) الصبغات فى محلول الإظهار . وهى من ثم تحتاج إلى ثلاثة محاليل إظهار ألوان مختلفة . ويجب إخضاع فعل كل منها لمراقبة وتحكم دقيقين ، بحيث لا يؤثر كل محلول إلا على الطبقة المخصصة له من طبقات العجائن الفوتوغرافية الثلاثة التى يحتوى عليها الفيلم .

وبالتالى لا يصبح تشغيل الكوداكروم أمرا عمليا ، إلا فى الوحدات الكبيرة فقط ، المجهزة بوسائل مراقبة متطورة ودقيقة ، يقوم على تشغيلها أخصائيون على درجات عالية من التدريب الفنى .

مواد كوداك الملونة التى يستطيع العملاء تشغيلها :

أدى اختراع المواد الملونة المحتوية على مكونات الألوان المغروسة فيها إلى إتاحة إمكانية تشغيلها بواسطة المصورين الفوتوغرافيين أنفسهم ، والاستديوهات التجارية ، والمعامل العلمية الصناعية ، حيث يقوم كل منهم بتشغيل المواد الملونة التى يستخدمها . وتمد شركة ايستمان كوداك الأسواق التجارية اليوم ، بخط كامل من المواد الملونة التى تستخدم لإعداد

الشفافيات الملونة أو الصور الملونة ، إما طبقاً للنظام العكسى ، وإما طبقاً لنظام السالب / الموجب . وقد لخصنا هذه المواد ، والعمليات الكيميائية الواجب استخدامها فى تشغيل كل منها ، فى الجدول رقم « ٤ » :

(الجدول رقم ٤)

المادة	اسم عملية التشغيل
الفيلم كوداك اكتاكروم نوع — ب Kodak Ektachrome Eilm Type—B	ب — ٤١ B—41
الفيلم كوداك اكتاكولور نوع — س Kodak Ektacolor Film Type—S	ج — ٢٢ C—22
الفيلم كوداكولور Kodaclolor Film	ج — ٢٢ C—22
الفيلم كوداك اكتاكروم (عملية ى — ١) Kodaw Ektachrome Film (Process—1)	ى — ١ E—1
الفيلم كوداك اكتاكروم (عملية ى — ٢) Kodak Ektachrome Film (Process E—2)	ى — ٢ E—2
الفيلم كوداك اكتاكولور المخصص للطبع Kodak Ektacolor Print Film	ج — ٢٢ أو ب—٤١ C—22 or B—41
مواد كوداك الملونة المخصصة للطبع — نوع ج Kodak Color Print Material Type—C	ب — ١٢٢ P—122
مواد كوداك الملونة المخصصة للطبع نوع ر Kodak Color Print Material Type—R	ب — ١١١ P—111

أنظمة السالب / الموجب :

تعطى أفلام كوداك اكتاكولور الملونة المطروحة فى الأسواق على هيئة ألواح والفيلم الكوداكولور (المطروح فى الأسواق على هيئة لفات) صورا سالبة يمكن الحصول منها على صور إيجابية بعملية الطبع على الفيلم كوداك اكتوكولور المخصص

للطبع وتحتاج جميع هذه المواد إلى معالجتها فى محلول إظهار ألوان . وهى تحتوى على مقرنات الألوان مغروسة بين ثنايا عجائنها الفوتوغرافية . وتشتمل عمليات تشغيل هذه المواد على الخطوات الأساسية التالية : إظهار هاليدات الفضة التى قد استقبلت التعريض الضوئى لتنتج الصور الفضية ، وصور الصبغات فى نفس الوقت على طبقات العجائن الفوتوغرافية الثلاثة ، ثم تبييض الفضة باستخدام ، حمام تبييض خاص ، ثم إزالة كل من هاليدات الفضة الأصلية التى لم تستخدم ، والصورة السالبة التى قد تم تبييضها ، فى حمام تثبيت . ولا بد أن تشتمل عملية التشغيل أيضا على عمليات معالجة ملحقة خاصة ، وكذلك على مراحل الشطف ، والغسيل ، بين المراحل المتعددة التى تشمل عليها عملية التشغيل .

(الجدول رقم ٥)

عملية كوداك كولور جـ – ٢٢	عملية كوداك كولور ب –٤١	عملية كوداك كولور للطبع ب – ١٢٢
– الفيلم كوداك اكتاكولور نوع «س» Type S – الفيلم كوداك اكتاكولور المخصص للطبع – الفيلم كودا كولور	– الفيلم كوداك الاكتاكولور نوع « ب » Type B – الفيلم كوداك الاكتاكولور المخصص للطبع	– مادة كوداك كولور المخصصة للطبع نوع جـ Type C
١ – الإظهار	١ – الإظهار	١ – الإظهار
٢ – حمام الإيقاف	٢ – حمام الإيقاف	٢ – حمام الايقاف
٣ – حمام اكساب الصلابة	٣ – حمام اكساب الصلابة	٣ – التثبيت
٤ – الغسيل	٤ – الغسيل	٤ – الغسيل
٥ – التبييض	٥ – التبييض	٥ – التبييض
٦ – الغسيل	٦ – الغسيل	٦ – الغسيل
٧ – التثبيت	٧ – التثبيت	٧ – محلول التثبيت الذى يكسب الجيلاتين صلابة
٨ – الغسيل	٨ – الغسيل	٨ – الغسيل
٩ – إزالة قطرات المياه بالمسح	٩ – اسرار الفيلم فى محلول كوداك فوتو – فلو بالاضافة إلى ½ أوقية من محلول الفورمالدهيد فى الجالون الواحد	٩ – حمام اكساب الصلابة
		١٠ – الغسيل
		١١ – حمام منظم للأس الأيدروجينى
١٠ – التجفيف	١٠ – التجفيف	١٢ – التجفيف

العمليات العكسية :

تنتمى العمليات كوداك اكتاكروم نوع ى – ١ (E—1) ، نوع ى–٢ (E—2) وعملية الكوداك كولور للطبع رقم ب – ١١١ (P—111) إلى النظام العام للتشغيل العكسى ، ولكنها تختلف فيما بينها فى العديد من التفاصيل . والخطوات الأساسية هى : المعالجة فى محلول الإظهار الأول ، حيث يتم اختزال هاليدات الفضة التى قد تعرضت للضوء فى آلة التصوير (أو فى ماكينة الطبع) ، ثم تعريض هاليدات الفضة المتبقية التى لم يتم إظهارها . وتسمى هذه الخطوة بالتعريض الضوئى الثانى . ثم المعالجة فى محلول إظهار الألوان لتكوين الكميات المناسبة من الصبغات فى الطبقات الثلاث . ثم تبييض الفضة – أى أكسدتها – إلى بروميد الفضة . ثم إزالة هاليدات الفضة المتبقية على الفيلم فى محلول التثبيت . وقد بينا فى الجدول التالى الخطوات

(الجدول رقم ٦)

عملية كوداك اكتاكروم ى – ١	عملية كوداك اكتاكروم ى – ٢	عملية كوداك كولور للطبع ب – ١١١
١ – الإظهار الأول	١ – الإظهار الأول	١ – المعالجة فى المحلول المبلل
٢ – الغسيل بالرش	٢ – الغسيل بالرش	٢ – الإظهار الأول
٣ – اكساب الصلابة	٣ – اكساب الصلابة	٣ – حمام الايقاف الأول
٤ – التعريض العكسى	٤ – التعريض العكسى	٤ – الغسيل
٥ – الغسيل	٥ – الغسيل	٥ – التعريض العكسى
٦ – الإظهار بالألوان	٦ – الإظهار بالألوان	٦ – الإظهار بالألوان
٧ – الغسيل	٧ – الغسيل	٧ – حمام الايقاف المكسب للصلابة
٨ – التوضيح	٨ – التوضيح	٨ – الغسيل
٩ – الغسيل بالرش	٩ – الغسيل بالرش	٩ – التبييض
١٠ – التبييض	١٠ – التبييض	١٠ – الغسيل
١١ – الغسيل بالرش	١١ – الغسيل بالرش	١١ – حمام التثبيت المكسب للصلابة
١٢ – التثبيت	١٢ – التثبيت	١٢ – الغسيل
١٣ – الغسيل	١٣ – الغسيل	١٣ – حمام تثبيت الصبغات
١٤ – إزالة قطرات الماء بالمسح أو بواسطة محلول كوداك فوتوفلو	١٤ – حمام تثبيت الصبغات	١٤ – الغسيل برذاذ الماء
١٥ – التجفيف	١٥ – التجفيف	١٥ – التجفيف

اللازمة فى التشغيل العملى ، مثل المعالجة فى حمام الإيقاف ، وفى محاليل إكساب الصلابة للجيلاتين ، وعمليات الشطف والغسيل المختلفة . ومن الواضح أن هناك بعض الاختلاف بين ترتيب الخطوات فى عملية الطبع الملون ب ــ ١١١ (P—111) ، وفى عمليات الإكتاكروم . ويتجلى أحد نواحى الاختلاف الهامة فى موضع التعريض الضوئى العكسى ففى عمليات الإكتاكروم تستقبل الأفلام التعريض الضوئى الثانى قبل وضعها فى ماء الغسيل الذى يتبع المعالجة فى حمام إكساب الصلابة للجيلاتين . بينما يتم التعريض الضوئى الثانى للأفلام الملونة المخصصة للطبع بعد غسلها جيدا . ويجدر بنا أن نشير إلى أنه بالرغم من اشتمال عمليات الاكتاكروم ى ــ ١ (E—1) ، ى ــ٢ (E—2) على نفس العدد من الخطوات التى تجرى بنفس الترتيب فى العمليتين ، فانهما تقتضيان استعمال حمامات مختلفة فيما عدا تلك المخصصة لإكساب الصلابة ، والتوضيح ، والتثبيت .

وحيث إن الصور النهائية تتألف من الصبغات ، فانه من الضرورى إزالة جميع أملاح الفضة التى يتم تكوينها بواسطة كلا محلولى الإظهار . ومن ثم لايعالج الفيلم فى محلول التبييض إلا بعد معالجته فى محلول إظهار الألوان ، ويلى حمام التبييض حمام تثبيت بدلا من حمام التوضيح الضرورى فى عمليات تشغيل المواد العكسية الأبيض والأسود .

اختبار المحاليل :

من الجدير بالملاحظة أن المحاليل المستخدمة للقيام بوظائف متشابهة فى العمليات المختلفة ليست بنفس التركيب الكيميائى . إذ إن محاليل التشغيل المختلفة يجب أن تكون وثيقة الصلة بالصفات المميزة لكل مادة ملونة ، وببقية المحاليل المستخدمة فى العملية . ويجب إجراء اختبارات تجريبية متسعة جدا ، لتحديد أفضل اتحاد للمواد الكيميائية ونسبها فى ذلك الاتحاد ، فى كل مجموعة من مجاميع محاليل التشغيل .

كما يجب إخضاع ظروف التشغيل ، مثل درجات الحرارة ، وأزمنة المعالجة فى المحاليل ، والتقليب ، إلى مراقبة دقيقة لضمان الحصول على نتائج مقنعة . وتحتوى

كل مادة ملونة على ثلاثة طبقات من العجائن الفوتوغرافية المختلفة التى يجب تشغيلها بالطريقة التى تكفل الحصول على توازن مناسب بينها . ويجب أن تنتج فى الطبقات الثلاث النسب المتناسبة من الصبغات الثلاث المختلفة اللازمة لتكوين الصورة النهائية . وكنتيجة لهذا قد يؤدى أى تغيير فى ظروف التشغيل إلى التأثير على النتيجة النهائية بدرجة ملحوظة . وفى جميع الحالات يقوم مصنعو الأفلام بتحديد ظروف تشغيل منتجاتهم ، بعد تجارب عديدة قاموا بها للوصول إلى تحديد أفضل تركيز للمواد الكيمائية ، وأزمنة المعالجة ، وقيم الأس الأيدروجينى بما يكفل المعالجة السليمة لها . وقد تؤدى أى محاولة يقوم بها المستهلك لإجراء تغيير فى الطرق الموصى بها خارج حدود التغيير المسموح بها إلى حدوث مشاكل من نوع أو آخر .

تحضير المحاليل :

يزيد عدد المحاليل الكيميائية المستخدمة فى هذه العمليات الملونة بقدر كبير عن تلك اللازمة لتشغيل المواد الفوتوغرافية الأبيض والأسود ، وخاصة فى محاليل التشغيل . وكذلك تتضمن كيمياء عملية الإظهار بالألوان على تفاعلات كيميائية أكثر تعقيدا بكثير . وبناء على ذلك يجب إخضاع التركيب الكيميائى للمحاليل لمراقبة أكثر دقة ، على أن تتناول هذه المراقبة كمية كل مادة ، وطريقة خلطها بعضها ببعض ، وصفات كل محلول من المحاليل، مثل الأس الأيدروجينى والوزن النوعى .

وتحظى قيمة الأس الأيدروجينى بأهمية ذاتية فى عمليات الإظهار بالألوان ، لأنها تؤثر على التفاعلات المقرنة للصبغات ، بالإضافة إلى تأثيرها على إظهار الصورة الفضية . وتعتبر المراقبة الكيميائية عامة ، فائقة الأهمية والفائدة ، بالنسبة لعمليات تشغيل المواد الملونة . ويحدد صانع الفيلم الخام صفات الضبط الكيميائى اللازم لكل مادة من المواد الملونة . وهو يستخلص هذه الصفات من تجارب عديدة . ويجب على القائم بالتشغيل المحافظةعلى التوازن المناسب لكل مادة من المواد التى تحتوى عليها محاليل التشغيل .

استعمال تركيبات التحضير :

يجب أن تكون حدود التغير المسموح بها فى الأوزان ضيقة جدا ، عند القيام بمحاولة تحضير محاليل التشغيل من المواد الكيميائية المنفصلة ، وذلك لضمان الحصول على صور ملونة جيدة . وذلك لأن التغيرات التى قد تلم بتركيز أى مادة من

المواد الكيميائية المستخدمة فى تحضير هذه المحاليل تستطيع أن تؤثر على سرعة العجينة الفوتوغرافية ، وعلى النهاية الكبرى للكثافةاللونية الناتجة على الفيلم ، وعلى الصبغات ، والتوازن اللونى . . . الخ ، فى كل طبقة من طبقات العجائن الفوتوغرافية الثلاث ، وبدرجات مختلفة عادة . ولا تتصف المقاييس العادية التى ينصح باستعمالها للأغراض الفوتوغرافية بالدرجة الكافية من الدقة ولا سيما فيما يتعلق بقياس مادة الإظهار ، والمواد القلوية ، وأى مادة من المواد التى تستعمل بكميات صغيرة جدا . والحقيقة أنه فى الحالةالأخيرة لايتم استعمال المادة الصلبة بل يستخدم بدلامنها محلول مخفف منها ، يسمح تركيزه بأخذ الحجم اللازم منها ، لإضافته إلى محلول التشغيل ، وذلك كما هو الحال بالنسبة لأيوديد البوتاسيوم فى المعادلة المنشورة فى الصفحة رقم ٨٣ .

وقيم الأس الأيدروجينى لمحاليل الإظهار حرجة جدا كما ذكرنا من قبل . وقد تأتى قيم الأس الأيدروجينى خارج الحدود المسموح بها بسبب التغيرات المحتملة فى نسب بعض المكونات ، حتى ولو تم قياس كل المواد الكيميائية بالدقة اللازمة . ومن ثم يعتبر قياس الأس الأيدروجينى بواسطة جهاز ، من المسائل الأولية الضرورية مع أخذ الاحتياطات اللازمة للتأكد من القراءة الدقيقة ، وإجراء الضبط اللازم طبقا للتعليمات الواردة فى تركيبة التحضير .

عبوات الكيماويات المجهزة :

ويمكن تجنب هذه المتاعب باستعمال عبوات الكيماويات المجهزة خصيصا لاستخدامها فى العمليات الملونة المختلفة . ولا يتبع المصنعون لهذه العبوات طرق تحضير وخلط عالية الدقة فقط ، ولكنهم يستفيدون أيضا من التسهيلات المناسبة المتاحة لهم ، بحكم إمكانياتهم ، والخبرة الشخصية الضرورتين للاختبار ، وإجراء الضبط إذا بينت التجربة الحاجة إليه . وذلك بالنسبة لكل تحضير ، لضمان تمتع جميع المحاليل التى يتم تحضيرها من العبوة الواحدة بالصفات النوعية المميزة للتشغيل الملون الناجح .

ولهـــذا يعتبر استعمال عبوات الكيماويات المجهزة أكثر اقتصادا فعلا بالنسبة للمستهلك الفرد ، لأنها تجنبه الحاجة إلى الاختبار الدقيق ، وإجراء

الضبط اللازم لكل محلول من المحاليل التى يقوم بتجضيرها من المواد الكيمائية المنفصلة . والاحتياط الوحيد الذى يجب عليه مراعاته عند خلط المحاليل هو أن يتبع تعليمات المزج بعناية للتأكد من تمام إذابة كل مادة كيميائية قبل إضافة المادة الثانية . وتستطيع المواد الكيميائية غير الذائبة فى المحلول أن تصيب توازنه الكيميائى بالخلل ، محدثة تأثيرات غير مرغوب فيها فى الصورة الملونة بعد إظهارها .

مراقبة التشغيل :

لقد أدى استعمال عبوات المواد الكيميائية المجهزة إلى جعل تشغيل الألوان أمراً عملياً جدا وبسيطا نسبيا ، لأن أوجه المراقبة أثناء دورة التشغيل ، تقتصر على أزمنة المعالجة ، ودرجات الحرارة ، والتقليب فقط .

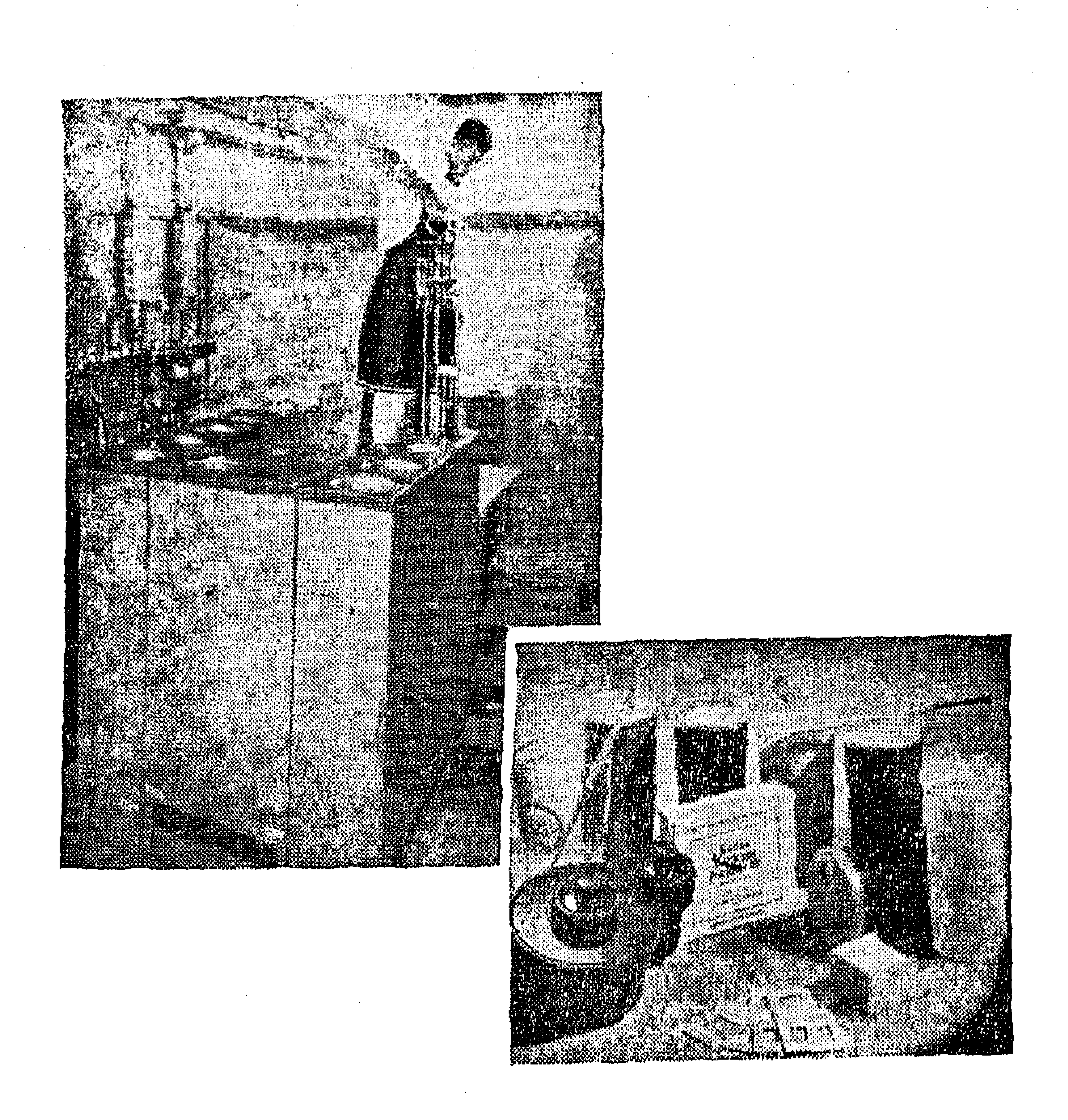
وحينئذ يصبح كل ما يحتاج إليه القائم بالتشغيل هو جهاز تشغيل مناسب وترمومتر دقيق .

درجة الحرارة :

يتأثر معدل حدوث التفاعلات بين المواد الكيميائية بدرجة حرارة المحلول . وينقص معدل التفاعل أو يزداد تبعا لانخفاض درجة الحرارة أو ارتفاعها على الترتيب . ولقد قررنا من قبل عند الحديث عن تشغيل المواد الملونة أن عملية الإظهار بالذات تشتمل على عدد من التفاعلات الكيميائية المعقدة . ونظرا لأن بعضها أكثر حساسية لدرجة الحرارة من الأخرى ، فان مدى تغيره سوف يزداد عن مدى تغير التفاعلات الأخرى . وفى التفاعلات التى تتم بين مقرونات الصبغات المختلفة ونتائج تأكسد مادة الإظهار ، قد تختلف العلاقات القائمة بين معدلات التفاعلات المختلفة ، بدرجة كبيرة ، عند درجات الحرارة التى تزيد أو تنقص عن تلك التى قد حددتها المواصفات . ويترتب على هذا أن الصبغات تتكون فى الطبقات الثلاث بنسب غير صحيحة . وبالتالى لن يكون التوازن اللونى ، والتباين بين الألوان صحيحين . ويتضح من هذا أنه يجب تحاشى تغيير درجات الحرارة الموصى بها .

ويجب اخضاع درجات حرارة المحاليل المستخدمة فى تشغيل المواد الفوتوغرافية الملونة إلى مراقبة دقيقة ، سواء أكانت من النوع العكسى أو من النوع

(النظام) السالب ــ الموجب . ولا تتم فى المحاليل الأخرى تفاعلات كثيرة مثل التى تتم فى محلول الإظهار . ولكن معدل التفاعل عند درجة حرارة معينة فى أحد المحاليل يعتمد اعتمادا مباشرا على التفاعلات التى تتم فى المحاليل الأخرى فى الدورة . ولهذا يجب عدم تغيير درجات الحرارة الواردة فى مواصفات التشغيل .



تشغيل الأفلام الملونة على نطاق متسع وعلى نطاق ضيق

إلى اليسار : الشكل رقم (٣١)

جهاز الاطار والتنك . ويسمى جهاز كوداك ذو الاطار والتنك لتشغيل الأفلام الملونة ويستخدم فى المعامل الفوتوغرافية الخاصة بالمحترفين .

إلى اليمين : الشكل رقم (٣٢)

ربطة تشغيل الفيلم كوداك اكتاكروم الخمسة وثلاثين ملليمتر .

وهى مصممة بهدف الاستعمال المنزلى

زمن المعالجة :

تحظى الفترة الزمنية المحددة للتفاعلات الكيميائية بأهمية خاصة فى تشغيل الأفلام الملونة . لأنه من المستحيل تقريبا موازنة الأخطاء التى تنتج عن تغييرها . وقد تلم بالفيلم بعض العيوب نتيجة استعمال أزمنة معالجة قصيرة جدا ، أو طويلة جدا . وتتعلق هذه العيوب بانخفاض أو ارتفاع قيمة الجاما والتباين ، ونشوء قدر من الصبغة كبير جدا أو قليل جدا فى طبقة واحدة ، أو فى كل الطبقات . وكذلك ظهور بقع مختلفة الألوان بسبب عدم إزالة نواتج التفاعل من فوق العجينة الفوتوغرافية تماما .

التقليب :

تعتمد درجة وطريقة التقليب المستعملة على تصميم أداة التشغيل إلى حد كبير . وفى العادة يقترح مصنع المادة الفوتوغرافية نوع أداة التشغيل ، كما يعطى تعليمات بخصوص نظام التقليب . وقد يكون من الضرورى اجراء تغييرات طفيفة فى هذه التعليمات لضبط التقليب فى أداة تشغيل تختلف فى التصميم ، بدرجة طفيفة ، عن تلك التى ينصح صانع المادة الخام باستخدامها . ويؤدى التقليب المنخفض جدا عامة إلى عدم تجانس عملية التشغيل . وبالرغم من أن اتاحة مزيد من التقليب ليست عادة بنفس خطورة التقليب الناقص ، إلا أنه من الممكن أن يؤدى هذا أيضا إلى الحصول على نتائج غير متجانسة بالاضافة إلى جعل الفيلم زائد الإظهار بدرجة طفيفة . ومهما كان الأمر فان التقليب القوى المستمر يعتبر ضروريا وأساسيا أثناء الخمس عشرة ثانية الأولى فى المظهر .

ويجب تصميم التنكات المخصصة لتشغيل لفات الأفلام بحيث يمكن إجراء التعريض الضوئى الثانى للفيلم العكسى داخل الجهاز (داخل التنك) بدون الحاجة إلى إزالته وإعادته إليه بالتالى بعد التعريض .

وتعتبر الأفلام الملونة ، وهى مبتلة ، أكثر رقة من الأفلام الأبيض والأسود بدرجة كبيرة . وهى تظل معرضة لخطر التشوه الفيريائى حتى تصل إلى درجة الجفاف .

تلوث المحاليل بعضها ببعض :

من الضروى فى عمليات تشغيل السلبيات الأبيض والأسود ألا يسمح لحمام التثبيت بتلويث المحلول المظهر خوفا من احتمال حدوث ضباب كيميائى يطمس الصورة الجارى إظهارها فى المحلول الملوث . ويجب أن نتجنب فى التشغيل العكسى الأبيض والأسود تلوث أحد المحاليل بالآخر ، مثل اختلاط المظهر بمحلول التبييض ، كما يجب استعمال الشطف المائى طبقا للتعليمات المنشورة ، للحيلولة دون تشوه الصور واصابتها بالبقع . وفى أنظمة تشغيل المواد الفوتوغرافية الملونة — والتى تعتبر بلا شك أكثر تعقيدا من تشغيل تلك التى بالأبيض والأسود — يحظى الشطف المائى بين خطوات التشغيل بأهمية كبيرة . فبفضله نتجنب ما قد يصيب محاليل التشغيل المتتالية (التى تشتمل عليها دورة التشغيل) من تلويث بعضها البعض . ويجب ضبط معدل سريان الماء للحصول على الأقل على دورة كافية من ماء الغسيل حول الفيلم فى التنك . وبذلك نضمن توافر مورد مستمر من الماء الطازج Fresh فى ملامسة سطح العجينة الفوتوغرافية على المادة التى يجرى غسيلها . وكذلك تعتبر مراعاة درجة حرارة ماء الغسيل الموصى بها مسألة هامة وأساسية . إذ إن الغسيل يستطيع عند هذه الدرجات (أى الموصى بها) أن يزيل بقايا المواد الكيميائية العالقة فى طبقات العجينة الفوتوغرافية بكفاية أكبر . كما أن مراعاة ما ورد فى مواصفات التشغيل عن درجات الحرارة تؤدى إلى تجنب ما قد يصيب العجينة الفوتوغرافية من تشويه عند درجات الحرارة الأعلى .

ويؤدى تلوث محاليل التشغيل ببعضها البعض إلى حدوث بعض الأخطاء البالغة الخطورة . فمثلا يؤدى وصول أى قدر من حمام اكساب الصلابة إلى محلول الإظهار الأول ، إلى انخفاض السرعة العكسية مما يخل بالتوازن اللونى . وفى تشغيل الاكتاكروم يعانى التوازن اللونى من تأثير مشابه بعض الشىء نتيجة للسبب السابق ذكره (أى تلوث المظهر الأول بحمام اكساب الصلابة الجيلاتين Hardener . ويجب أخذ جميع الاحتياطات الكفيلة بعدم تلوث محلول اظهار الألوان بمحلول التوضيح ، فان ذلك قد يسبب حدوث ازاحة خطيرة فى التوازن اللونى . ولقد ذكرنا هذه الأمثلة بالذات من حالات التلوث لشدة خطورتها ، وعدم وجود أى حدود للخطأ المسموح به فى

شأنها . ولا يقتصر تأثير هذا النوع من التلوث على الصفات المميزة للصورة ، بل إنه يمتد أيضا إلى الحياة النافعة للمحاليل التى يلم بها . وكذلك يتناول قدرتها على البقاء صالحة للاستعمال . ومن هذا يتضح لنا ضرورة اتباع تعليمات التشغيل بالضبط ، حتى نستطيع تحقيق النتائج المقنعة .

المراقبة الفوتوغرافية :

إن تعليمات التشغيل التى ينشرها صانع المواد الفوتوغرافية هى ثمرة عدة اختبارات بالغة الدقة أجريت على المواد فى المصانع قبل تقديمها للمستهلك . وإذا اتبع القائم بالتشغيل ، هذه التعليمات بكل تفاصيلها ، فمن المؤكد أنه سيحصل على النتائج المقنعة التى توقعها من اختياره لمادة فوتوغرافية معينة . وذلك بشرط أن يكون التعريض الضوئى الأولى الذى استقبلته هذه المادة (فى آلة التصوير أو جهاز الطبع) صحيحا . وفى بعض الحالات ، مثل تلك المتعلقة بالتشغيل المستمر كما فى معامل السينما أو تلك المتعلقة بتشغيل كميات كبيرة من المواد الفوتوغرافية كما فى معامل المحترفين الفوتوغرافية ، من الضرورى أن تتوافر لدى القائمين بالتشغيل وسائل تؤكد لهم خضوع ظروف التشغيل للرقابة الدقيقة ، التى تمكنهم من الحصول على النتائج الطيبة التى يتوقعونها .

ولهذا الغرض يقدم صانع الفيلم الخام للعميل ، نوعين من شرائح الاختبار القياسية . النوع الأول عبارة عن شرائح غير مشغولة قد تم تعريضها بمعرفة الصانع فى ظروف قياسية . والنوع الثانى عبارة عن شرائح مشغولة قد استقبلت نفس التعريض الضوئى القياسى الذى على النوع الأول . ويقوم العميل بتشغيل إحدى شرائح النوع الأول عند فترات مختارة . ثم يقارن النتائج مع شريحة الاختبار القياسية المشغولة ، إما بواسطة العين ، أو بواسطة أحد أجهزة قياس الكثافة أو بكليهما . وتتيح له هذه المقارنة وسيلة مباشرة لاختبار ظروف التشغيل .

الباب الرابع عشر

غسيل المواد الفوتوغرافية المشغولة

يستعمل الماء فى التشغيل الفوتوغرافى لازالة المواد الكيميائية من فوق العجائن الفوتوغرافية بعد خروجها من كل محلول من المحاليل المستخدمة فى عمليات المعالجة الكيميائية المتنوعة . وذلك لمنع تلوث المحاليل المتتابعة ببعضها البعض. ويستعمل الماء كذلك فى مراحل الغسيل النهائى لإزالة المواد الكيميائية المتبقية على الفيلم بعد خروجه من آخر حمامات التشغيل ، لتحاشى تشوه الصورة فيما بعد .

لقد اتجهت الأنظار منذ سنوات طويلة إلى الأهمية الفائقة لعملية ازالة المواد الكيميائية من على المواد الفوتوغرافية بعد تشغيلها . وبذلك توافرت لدينا معرفة الكثير عن الغسيل ، والعوامل المتعلقة به ، والتى توثر على اكتمال عملية التشغيل نتيجة لحدوث أى خلل بمرحلة الغسيل . وبالرغم من أن جميع الدراسات العملية المتعلقة بالغسيل قد أجريت على المواد الفوتوغرافية الأبيض والأسود لازالة بقايا المواد الكيماوية الخاصة بمحلول التثبيت من عليها ، فقد ثبت أنه يمكن تطبيق الكثير من التوصيات التى تم الخروج بها من هذه الدراسة على أى عملية من عمليات الغسيل سواء فى تشغيل الفيلم الأبيض والأسود ، أو فى تشغيل الفيلم الملون .

ويعتمد الغسيل الجيد للمواد الفوتوغرافية السالبة أو الموجبة على مصدر المياه وعلى تصميم جهاز الغسيل ، وكيفية استخدامه .

ويعتبر فهم ميكانيكية الغسيل أمرا هاما سواء، بالنسبة لتصميم أو تشغيل جهاز الغسيل بنجاح . ويمكن وصف عملية الغسيل كما يلى، بدون التعرض للمسائل الرياضية

المتعلقة بها : إذا وضعنا فى اعتبارنا طبقة من الجيلاتين القراح التى قد تم فرشها على لوح زجاجى أو على دعامة فيلمية ، ثم عولجت فى أحد المحاليل المختلفة ، وليكن حمام التثبيت على سبيل المثال . ونتيجة لهذه المعالجة ستحتفظ الطبقة الجيلاتينية ببعض كيماويات التثبيت حيث تبقى منتشرة خلالها . وإذا استطعنا أن نغمر هذا اللوح أو الدعامة بعناية فى وعاء مملوء بالماء ، وبدون تقليبها ، فسوف يتم تخفيف تركيز الهيبو المنتشر على السطح . ولكن الماء الساكن لن يستطيع إزالة الهيبو سواء من الطبقة كلها أو من فوق السطح فقط . أما إذا وفرنا تقليبا طفيفا ، بتحريك الوعاء مثلا ، فقد يمكن إزالة الهيبو المخفف من فوق سطح لوح الجيلاتين . وذلك لأن التقليب الخفيف يسمح لطبقة الجيلاتين بملامسة ماء غير مستعمل ، مما يؤدى إلى زيادة درجة تخفيف الهيبو المنتشر فى طبقة الجيلاتين . وكلما كررنا هذه العملية ، تمت إزالة قدر أكبر من الهيبو من مستويات أعمق فى الجيلاتين ، حتى يتم فى النهاية إزالة الهيبو تماما .

ويمكن إزالة الهيبو إما بالغسيل فى مجموعة من الأوعية المملوءة بالماء ، أو فى جهاز واحد بواسطة الماء الجارى . وفى الحالة الأولى سرعان ما يتلوث الماء بالهيبو ، حتى يصل محلول الهيبو الموجود فى الوعاء إلى حالة من التعادل أو التوازن مع الهيبو الموجود فى طبقة العجينة الفوتوغرافية .

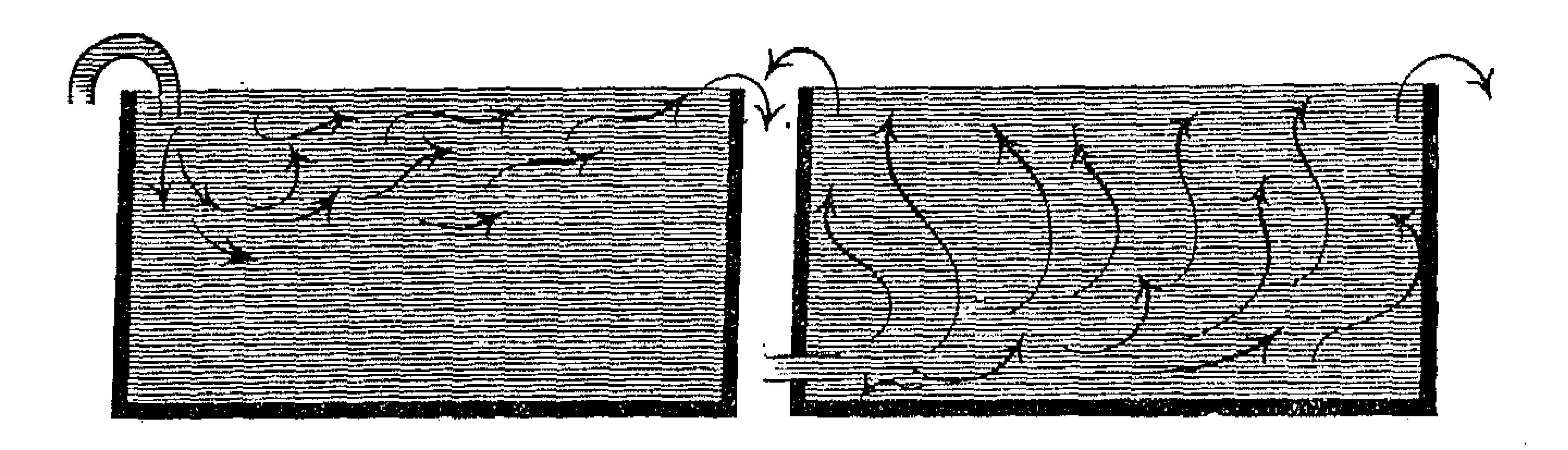
ويعنى هذا أن تركيز الهيبو فى كل من الوعاء ، وطبقة الجيلاتين قد وصل إلى الحد الذى لا يسمح للمزيد من الهيبو بالانتشار خارج الجيلاتين. وبعد ذلك تنقل الصور الموجبة أو السالبة إلى الوعاء التالى من أوعية الماء الطازج ، وتستمر العملية حتى يزول كل الهيبو .

العوامل الفيزيائية فى عملية الغسيل :

لقد أصبح الماء الجارى فى متناول اليد عامة فى يومنا هذا . ومن ثم تجرى أغلب عمليات الغسيل أو الشطف فى وحدة واحدة يسرى الماء خلالها تحت ظروف تخضع للتحكم والمراقبة إلى حد ما .

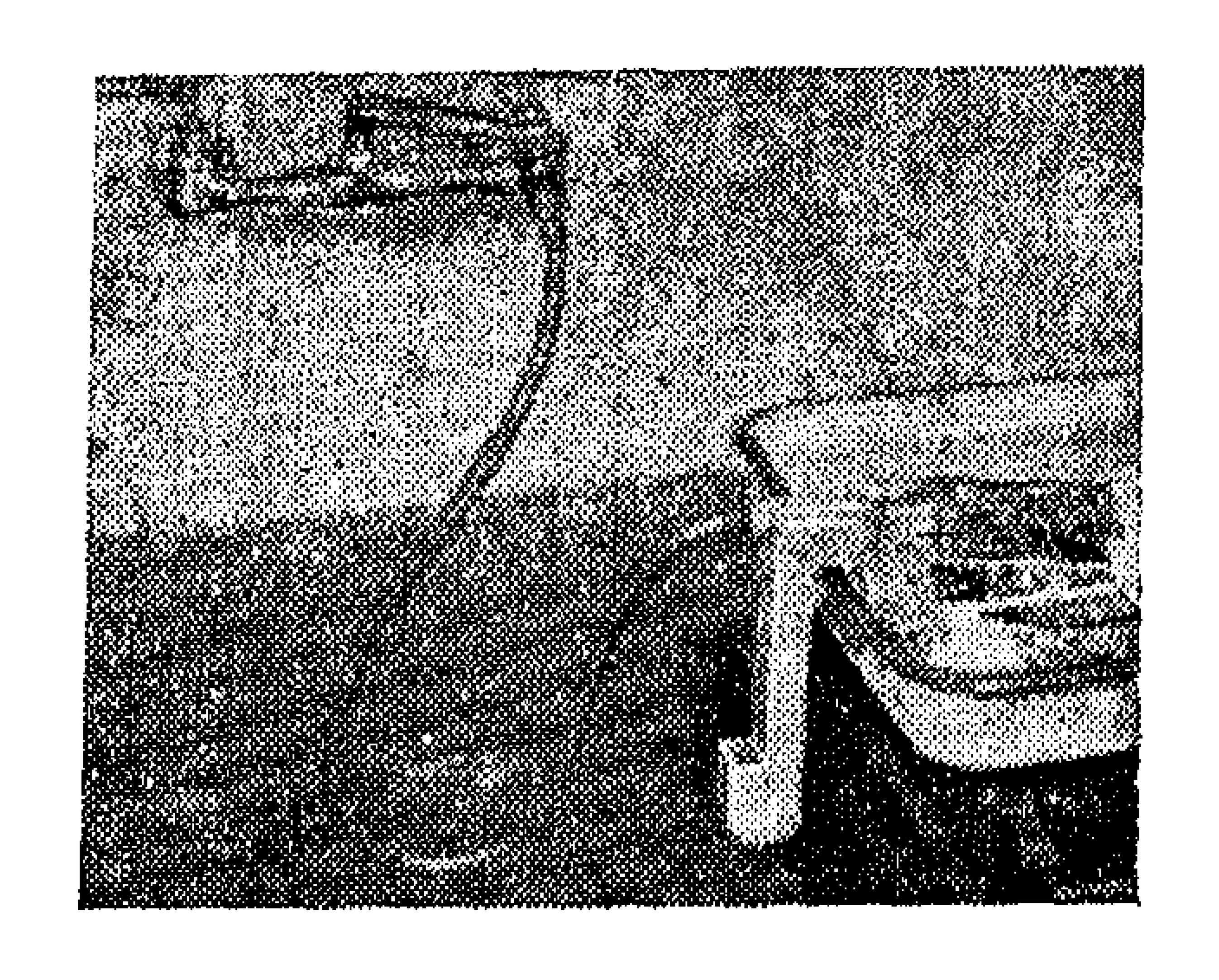
وتتوقف كفاية نظام الغسيل مباشرة على العوامل الآتية : (١) – معدل سريان الماء، مقدرا بعدد الجالونات فى الدقيقة مثلا . (٢) – عدد المرات التى يتم فيها تغيير الحجم الكلى للماء فى فترة زمنية معينة . (٣) تصميم جهاز الغسيل .

ويرتبط العاملان الأوليان من هذه العوامل ببعضهما البعض ارتباطا وثيقا . ويجب ضبط معدل سريان الماء فى أى جهاز من أجهزة الغسيل البسيطة، بما يكفل تغيير الحجم الكلى للماء تماما، مرة واحدة كل خمس دقائق . ويمكن التأكد من حدوث ذلك بطريقة سهلة عن طريق إضافة كمية يتراوح مقدارها فيما بين نصف الأوقية والأوقية السائلة الواحدة من محلول صبغة ذات لون داكن ، أو من محلول برمنجنات البوتاسيوم ، إلى الماء الموجود فى تنك الغسيل . ويمكن معرفة الزمن الذى يتم فيه تغيير الماء بملاحظة الزمن الذى ينقضى حتى يختفى لون الصبغة من التنك تماما . ويجب أن يتم ذلك خلال



شكل رقم (٣٣)

لا يحدد موضع دخول الماء عند قمة التنك كما هو موضح فى التنك الموجود على اليسار ولكن عند ركن فى قاعه كما هو موضح فى التنك الموضوع على اليمين وذلك حتى نستطيع الحصول على دورة كاملة للماء



شكل رقم (٣٤)

يوصى باستعمال سيفون يركب على تنك الماء كما فى الشكل لتوفير غسيل كاف فى حالة استخدام الأوعية

خمس دقائق إذا كان سريان الماء كافيا . وفى بعض أجهزة أو أدوات الغسيل قد لاتسمح الإمكانيات بتوفير هذا الشرط الخاص بزمن تغيير ماء الغسيل ، أما بسبب التصميم الهندسى للجهاز ، أو بسبب القيود المتعلقة بمصدر المياه . ولا يمكن الحصول على غسيل كاف عند استعمال نض أو قطر من الماء . فمثلا يعمد الكثير من المصورين الفوتوغرافيين عند غسيل الألواح الفيلمية فى نهاية تشغيلها إلى وضع كلبسات ، أو مشابك الأفلام ، فى تنك مملوء بالماء ، ويغذى به — أى بالماء — عن طريق خرطوم موضوع على طرف التنك . وعندما لا يكون معدل سريان الماء كافيا ، فان تحرك الماء وتغييره يقتصران على الجزء العلوى من التنك فقط . ويبقى الماء فى القاع وفى الأجزاء السفلى من التنك راكدا . ويترتب على ذلك غسيل الجزء العلوى من المادة الفوتوغرافية بمعدل أكبر من ذلك الذى تغسل به بقية مساحته البعيدة عن السطح . ولكننا نستطيع فى مثل هذه الظروف توفير وسيلة مناسبة لتقليب ماء الغسيل إذا ما جعلنا الفتحة التى ينفذ منها الماء إلى التنك عند قاعه . إذ إننا نستطيع بتوفير معدل سريان مناسب للماء أن نحصل على درجة من التقليب تشمل حجم الماء بأكمله . وبذلك نضمن ملامسة الماء الطازج لكل مساحة المادة الفوتوغرافية المطلوب غسيلها ، وبطريقة مستمرة تقريبا . ونحصل على غسيل غير كاف (أوفقير) ، عندما نسمح للماء بأن ينزل بالكاد فى قطرات خلال خرطوم عند أحد طرفى الوعاء . فلا توفر هذه الطريقة قدرا من الحركة أو التقليب للماء يكفى لحفظ الأفلام أو أوراق الصور منفصلة عن بعضها البعض . ولا يكون الغسيل فعالا إلا عند الأطراف فقط .

ومهما كان الأمر فان تركيب سيفون أو فونية مشابهة له على وعاء الغسيل ورفع ضغط الماء بحيث يكفى ليمد التنك بتيار نفاث قوى من الماء ، يؤدى إلى الحصول على غسيل كاف .

ويعتبر حجم الاناء أو التنك المستخدم فى الغسيل هاما جدا ، ويجب اختياره بعناية بناء على كمية وحجم الأفلام أو أوراق الطبع المشغولة المطلوب غسيلها . فمثلا لا يمكن توفير غسيل كاف لدستة واحدة من أوراق التصوير ، مقاس ٨ × ١٠ بوصة فى وعاء مساحة سطحه ٨ × ١٠ بوصة — إذ لا يمكن فصل الأوراق وتحريكها فى الماء

بالقدر المناسب فى هذا الوعاء الضيق . بل يجب غسل هذه الأوراق فى وعاء سعته ١٦ × ٢٠ بوصة أو وعاء أكبر حجما . وكذلك يجب ضبط عمق الماء بما يسمح للصور المطبوعة بالحركة السهلة فى الماء . ويعتبر أى عمق غير مطلوب (أو غير ضرورى) للماء بمثابة تبذير لا داعى له ، إذ إن هذا العمق يتطلب توفير معدل أكبر من سريان الماء لاتاحة غسيل كاف فى أقل وقت ممكن .

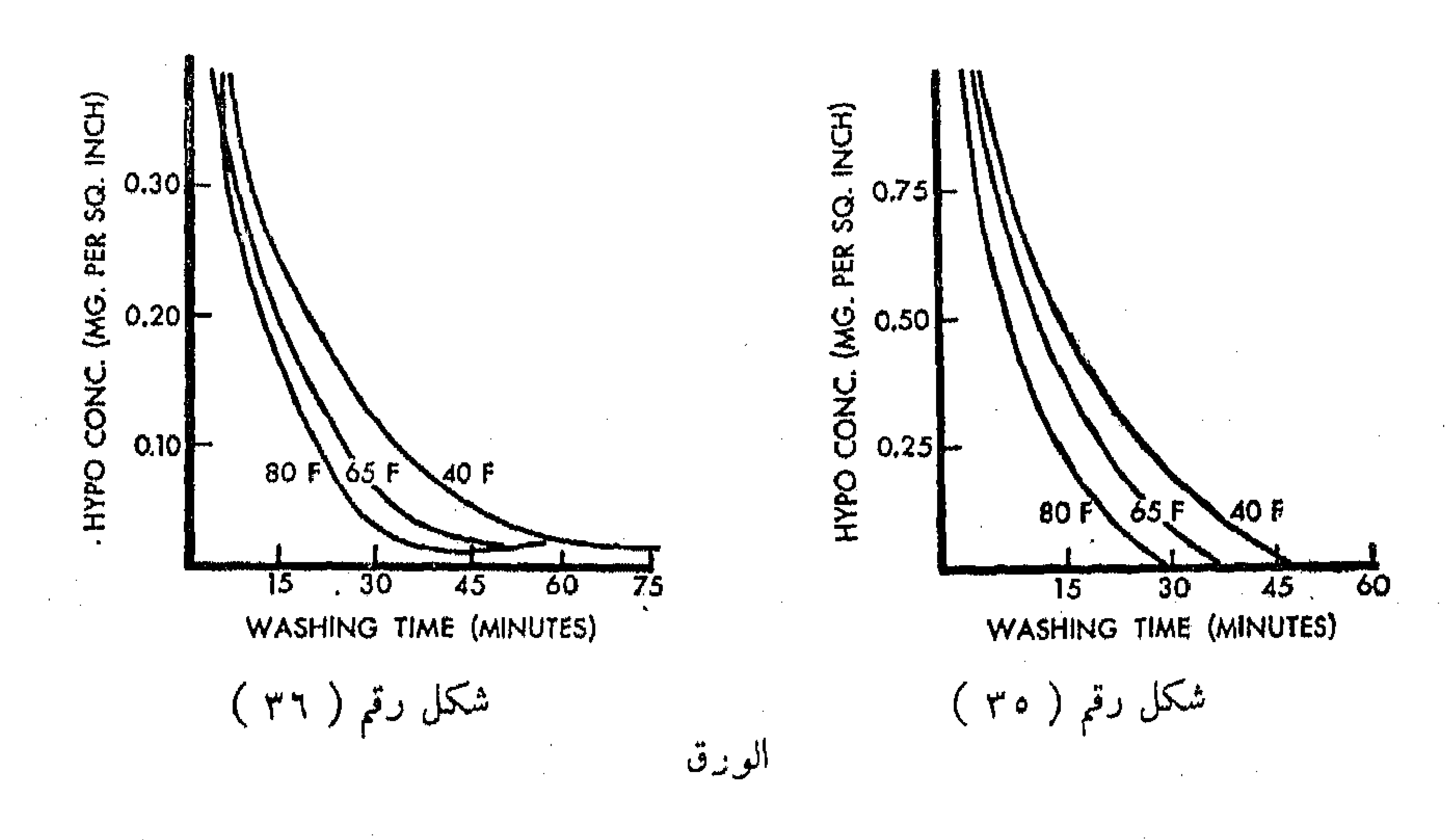
وعندما يكون تنك الغسيل كبيرا جدا للدرجة التى تسمح باستخدام سيفون عليه ، فانه يجب الاهتمام بتصميم التنك بالنسبة للفتحة التى يدخل منها الماء إليه ، وكذلك تسهيلات صرفه . وبالنسبة لتنك جيد التصميم يصلح لاستخدامه فى غسل الطبعات يجب اعداد فتحات دخول الماء بما يسمح بتوفير الحد الأقصى من تقليب أو تحريك الماء فى داخله ، مع استخدام الحد الأدنى من الماء فى الغسيل . وبذلك يمكن منع تراكم الأوراق فى مركز الوعاء . وتعتبر الفتحات المغمورة الموجودة عند قاع التنك ملائمة لهذا الهدف — إذا أقيمت فى المواضع المناسبة . وتتيح تنكات الغسيل المجهزة برشاشات فوقها توافر قدر من الحركة والتقليب المناسبين للماء . ولكنها تحتاج عادة إلى معدل أكبر لسريان الماء كما تميل إلى نثر الماء حولها . وتوجد فى الأسواق وحدات غسيل عديدة جيدة التصميم .

درجة حرارة ماء الغسيل :

لدرجة حرارة ماء الغسيل تأثير واضح على معدل إزالة بقايا الهيبو ، ومركبات الفضة من فوق المواد الفوتوغرافية المطلوب تثبيتها سواء أكانت أفلاما أم أوراق تصوير . وقد ورد فى كثير من الأبحاث المنشورة أن درجات الحرارة العالية ، تؤخر فعلا من معدل إزالة الهيبو . وهذا حقيقى عندما ترتفع درجة حرارة المحلول المثبت المستخدم بقدر كبير عن المستوى الذى يجب أن تكون عليه عمليا . وذلك لأن الجيلاتين الموجود فى العجينة الفوتوغرافية ينتفخ نتيجة امتصاصه للمحلول المثبت ، ويمضى هذا الانتفاخ إلى الحد الذى يعوق عمليات الانتشار التى تتم عند درجات الحرارة العادية أثناء التشغيل العادى . وقد أثبتت الأبحاث التى أجريت فى السنوات الحديثة ، أن الماء الذى تتراوح درجة حرارته فيما بين ٤٠ فهرنهيتى ، ٨٠ فهرنهيتى ، يستطيع القيام بعملية الإزالة البطيئة والأكثر سرعة على الترتيب .

ويوضح الشكل رقم ٣٥ ، والشكل رقم (٣٦) التأثيرات النسبية عند درجات الحرارة ٤٠ فهرنهيت، ٦٥ فهرنهيت ، ٨٠ فهرنهيت . وتبين النتائج الممثلة فى كلا الشكلين ، والتى تم الحصول عليها تحت ظروف خاضعة لتحكم دقيق ، أن مقدار الهيبو الذى تم ازالته فى فترة زمنية محددة ، يزداد بارتفاع درجة الحرارة . وفى حالة تشغيل الأفلام ينقص الزمن الكلى اللازم لإزالة كل الهيبو بحوالى ثلاثين فى المائة إذا ارتفعت درجة حرارة المحلول المثبت من أربعين درجة فهرنهيت إلى ثمانين درجة فهرنهيت .

ولقد ذكرنا من قبل أن الأوراق المستخدمة فى الطبع ذات بناء أكثر تعقيدا ، الأمر الذى يؤدى إلى احتفاظها بكميات طفيفة من الهيبو ، لا يمكن إزالتها بالغسيل فقط ولا تتغير الكمية المتبقية من الهيبو إذا كان زمن المعالجة فى المحلول المثبت قصيرا سواء أكان الورق من النوع ذى الوزن المفرد ، أم من النوع ذى الوزن المزدوج . وعند وضع جميع الصفات الفيزيائية المميزة لمنتجات الفيلم والورق فى الاعتبار ، فاننا نستنتج أنه يمكن استعمال ماء الغسيل فيما بين ٦٥ فهرنهيت ، ٧٠ فهرنهيت للحصول على إزالة أكثر كفاية للهيبو .



شكل رقم (٣٦) شكل رقم (٣٥)

الورق

العوامل الكيميائية التى تؤثر على عملية الغسيل :

تتطلب المواد الفوتوغرافية عامة ، زمن غسيل طويل بدرجة غير مرغوبة . حتى إذا توافرت لدينا أكثر الأجهزة كفاية من حيث : التصميم الهندسى ، والحد الأقصى

لمعدل سريان ماء الغسيل. ومن ثم فقد تم البحث عن وسائل كيميائية متنوعة لاستخدامها بهدف إنقاص الزمن اللازم للغسيل ، إما عن طريق تفتيت المـــواد الكيميائية المراد التخلص منها ، أو عن طريق الإسراع بمعدل إزالتها من فوق المواد الفوتوغرافية .

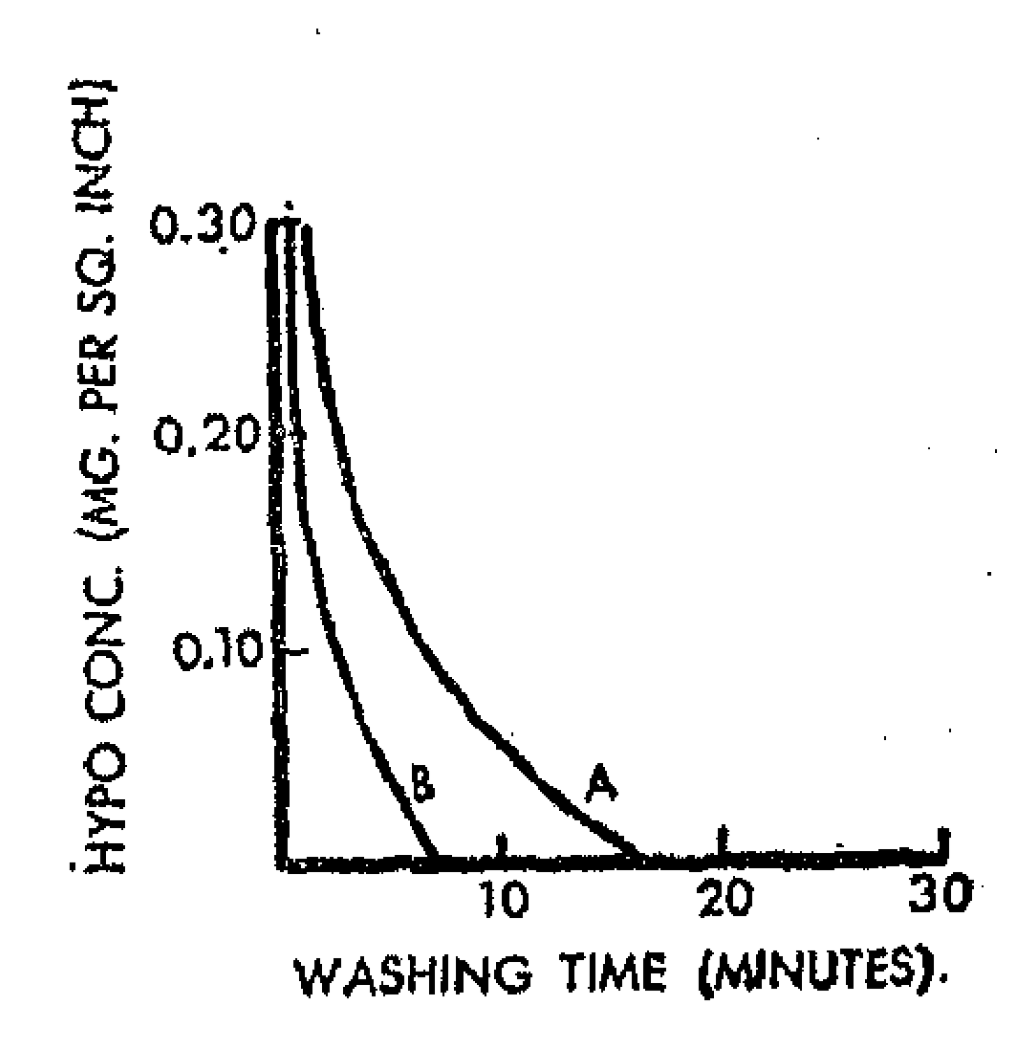
فمثلا ، من الأفضل فى العمليات الفوتوغرافية التى تشتمل على عدد من الخطوات الكيميائية ، كالعملية العكسية مثلا ، أن تحتوى دورة التشغيل على خطوات شطف مائى قصيرة بقدر الإمكان . وبذلك نستطيع تقصير الزمن الكلى لدورة التشغيل . ومن ثم يجب أن يتم تركيب كل حمام كيميائى بالكيفية التى تحول دون تلوثه بأى كمية — مهما كانت قليلة — من المواد الكيميائية الموجودة فى الحمامات التى قبله ، وبحيث يستطيع الحمام معادلة هذه الآثار الطفيفة أو تفتيتها ، إذا اقتضى الأمر ، بدون أن ينتاب الخطوات التالية المتبقية من دورة التشغيل أى ضرر . وبناء عليه فإن حمام التوضيح التى تحتوى عليه دورة تشغيل الأفلام العكسية ، والذى يأتى دوره بعد انتهاء معالجة الفيلم فى حمام التبييض ، له تأثير مضاد للفعل المؤكسد لأى مادة من المواد المؤكسدة الداخلة فى تركيب محلول التبييض . وبذلك يساعد على إزالة مركبات الفضة الناتجة عن تبييض الصورة السالبة (التى تنشأ فى محلول الإظهار الأول) . وهو كذلك يهيئ هاليدات الفضة المتبقية على الفيلم للاستجابة إلى التفاعلات التى تتم فى مرحلتى التعريض الضوئى الثانى ، والاظهار الثانى .

وعلى هذا الأساس يتم اقتراح عدة مركبات مختلفة ، تستطيع أن تفكك الهيبو الموجود على أوراق طبع الصور الأبيض والأسود ، أو تحول هذه المركبات إلى بعض المركبات العديمة الضرر ، وذلك لتقصير الزمن اللازم لغسيل هذه المواد . ولسوء الحظ ، أن أغلب هذه المعالجات قد قام على أساس استغلال المحاليل الحامضية المؤكسدة التى لا تؤكسد الهيبو ، فى عملية واحدة إلى الكبريتات التى لا تضر الفيلم ، بل تكون مركبات وسيطة مثل التتراثيونات Tetrathionates التى تتميز بأنها ذات تأثير ضار ، بل مثل تأثير الهيبو بالضبط من حيث القدرة على اصابة الصورة بالخفوت . هذا بالاضافة إلى أن هذه المحاليل نفسها تميل فى أغلب الأحيان إلى مهاجمة الصور الفضية ، ولاسيما مناطق الكثافة المنخفضة منها .

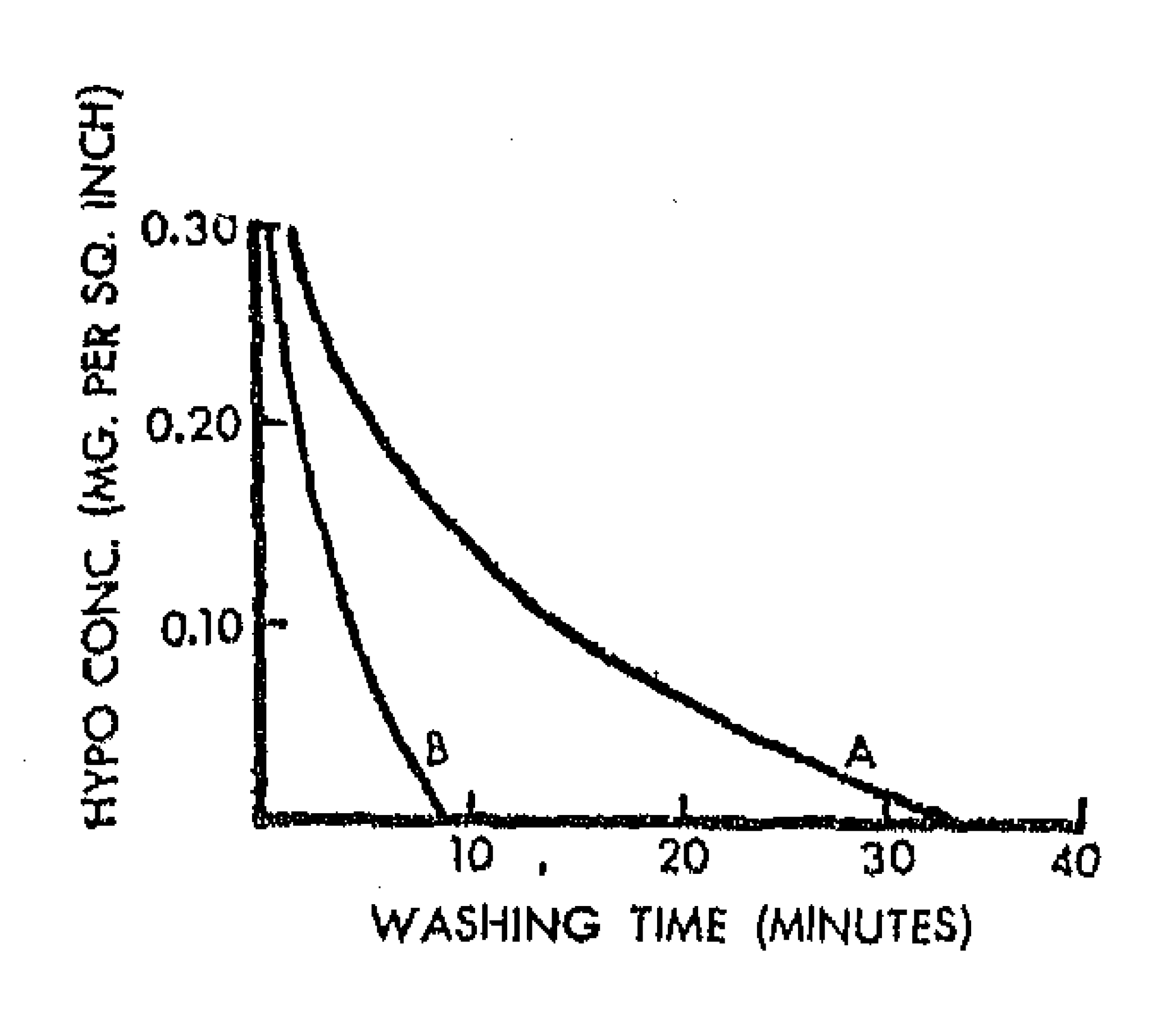
وفى ١٩٤٠ أوصى باستعمال مادة قلوية مؤكسدة فعالة . وتحتوى هذه المادة على فوق أكسيد الهيدورجين ، وأيدروكسيد الأمونيوم بالنسب الصحيحة اللازمة

لانتاج أس أيدروجيني مقداره ٩,٥ أو أكثر . وهى تؤكسد الهيبو تماما إلى كبريتات الصوديوم غير الضارة بالنسبة للصور الناتجة على الأفلام . وقد ثبت أن هذه المادة التى يطلق عليها اسم مزيل الهيبو Hypo Eliminator ذات فائدة فى إزالة آخر بقايا الهيبو من على الصور المطبوعة التى قد حفظت لفترة زمنية طويلة . ولكنها أظهرت ميلا إلى تعقيد طريقة الغسيل، ولم يساعد على انقاص زمن الغسيل بدرجة ملحوظة .

ولقد أمكن انقاص زمن الغسيل بقدر كبير باستخدام المواد التى تسرع بمعدل إزالة المواد الكيميائية غير المرغوب فى بقائها على الفيلم ،



شكل رقم (٣٧)
حمام تثبيت حامضى مكسب للصلابة
(ا) قيمة الأس الأيدروجينى أقل من ٤,٩
(ب) قيمة الأس الأيدروجينى أكبر من ٤,٩



شكل رقم (٣٧)
حمام تثبيت غير مكسب للصلابة
(أ) قيمة الأس الأيدروجينى أقل من ٤,٩
(ب) قيمة الأس الأيدروجينى أكبر من ٤,٩

تأثير الأس الايدروجينى :

لقد تعرضنا فى الباب الخامس إلى وصف تأين الأملاح الموجودة بالمحاليل على أنه انقسام لبعض الجزئيات إلى ذرات ذات شحنات كهربية أو مجاميع من الذرات تسمى الأيونات . ويتأين الهيبو (أى ثيوسلفات الصوديوم) فى المحاليل بالكيفية التى تعبر عنها المعادلة التالية :

$$\text{ص}_2\,\text{كب}_2\,\text{أ}_3 \longrightarrow 2\,\text{ص}^{+} + \text{كب}_2\,\text{أ}_3^{--}$$

ولقد ذكرنا من قبل ، أن الجيلاتين المستخدم فى صناعة المستحلبات الفوتوغرافية، عبارة مادة غروية التى تتميز ببعض الصفات الخاصة . فهو يشتمل فى بنائه

الشديد التعقيد على عدد كبير من مجاميع الأمينو (ــ ن يد٢) ، والكاربوكسيل (ــ ك أ أ يد) ، وهى على الترتيب ذات طبيعة قلوية وحامضية . وعندما يضبط الأس الأيدروجينى لمحلول من الجيلاتين ، أو لفيلم مبتل مغطى بالجيلاتين إلى قيمة ٤,٩ ، يتم موازنة نشاط هاتين المجموعين ، ويصبح الجيلاتين متعادلا بالنسبة للحامض والقلوى . وتسمى هذه القيمة للأس الأيدروجينى (أى ٤,٩) بنقطة تساوى الشحنات الكهربائية للجيلاتين Isoelectric Point . ومن الحقائق التى تحظى بأهمية خاصة فى غسيل العجائن الفوتوغرافية تلك التى تنص على أنه إذا كانت قيمة الأس الأيدروجينى أقل من ٤,٩ (أى كان المحلول أكثر حامضية) فان أيونات الثيوسلفات (ص٢ كب أ٣)٥ السالبة الشحنة سوف يتم إدمصاصها بواسطة الجيلاتين من المحلول. أما إذا كانت قيمة الأس الأيدروجينى أعلى ، أى إذا كان الجيلاتين أكثر قلوية مما تتيحه قيمة أس أيدروجينى مقدارها ٤,٩ ، فلن يتم ادمصاص أيونات الثيوسلفات على سطح الجيلاتين . وكذلك تتأين مركبات الفضة التى تكونت فى المحول المثبت منتجة أيونات مركبة سالبة الشحنة يتم ادمصاصها بواسطة الجيلاتين عندما تكون عند قيمة الأس الأيدروجينى أقل من ٤,٩

ويبين الشكل رقم (٣٧) والشكل رقم (٣٨) التفسير العملى لهذه الحقائق . حيث يقدمان نتائج قد تم الحصول عليها من تجارب خضعت للمراقبة والتحكم باستعمال حمام تثبيت غير مكسب للصلابة فى أحدهما ، وحمام تثبيت مكسب للصلابة فى الأخرى . وفى كلتا الحالتين قد تم ضبط قيمة الأس الأيدروجينى عند قيمة أقل من ٤,٩ أولا ثم عند قيمة أعلى من ٤,٩ .

وبالرغم من أن حمامات التثبيت المكسبة للصلابة تستخدم فى أغراض عملية مختلفة عند قيم أس أيدروجينى أقل من ٤,٩ ، فانه يمكن الاستفادة من ذلك التأثير للأس الأيدروجينى بجعل الماء (ماء الغسيل) على درجة كافية من القلوية ليكسب العجينة الفوتوغرافية قيمة أس أيدروجينى أعلى من ٤,٩ بسرعة . ويمكن إجراء ذلك باضافة كمية قليلة من النوشادر إلى الماء .

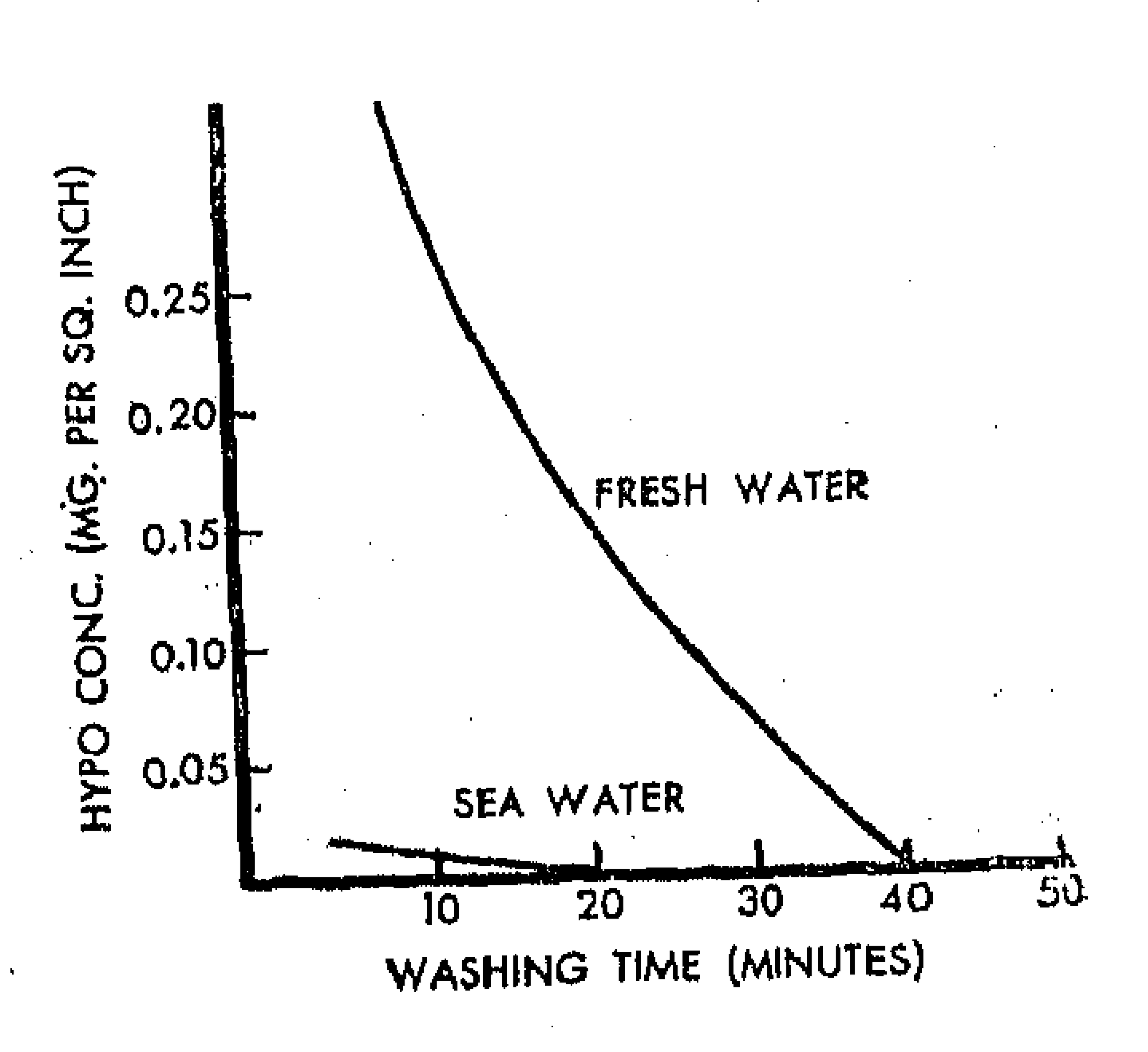
ولا يحقق هذا التأثير للأس الأيدروجينى ، فى حالة غسيل أوراق الطبع ، نفس تلك الفائدة الكبيرة التى يحققها للأفلام والألواح الفوتوغرافية . وربما يرجع

السبب فى هذا الاختلاف ، إلى أن الدعامة الورقية تلعب دورا هاما فى التفاعلات التى تتم أثناء عمليات الغسيل .

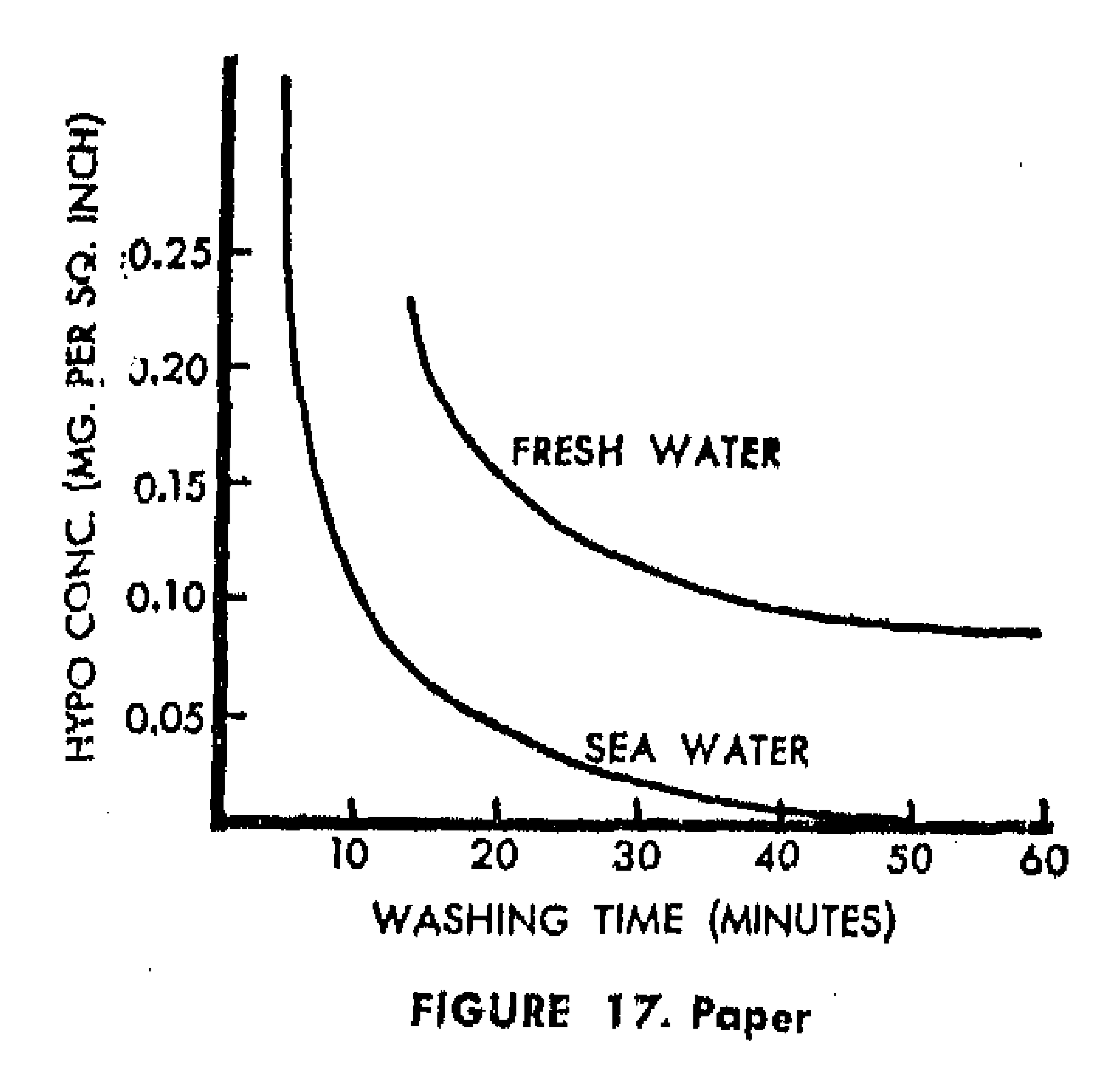
استخدام ماء البحر فى غسل المواد الفوتوغرافية :

لقى احتمال استعمال ماء البحر فى الغسيل فى تلك الأماكن التى يندر توافر مصادر مياه عذبة فيها أهمية خاصة بالنسبة للقوات المسلحة للولايات المتحدة أثناء الحرب العالمية الثانية. وقد وجد أنه فى الامكان غسل كل من الأفلام أو أوراق التصوير المشغولة، فى ماء البحر على أزمنة غسيل أقصر، وذلك كما هو مبين فى الشكلين التاليين. ويمكن تحت ظروف غسيل مشابهة عامة إزالة الهيبو من فوق الفيلم فى زمن يقدر بحوالى ثلث الزمن العادى اللازم عند استخدام المياه العذبة ، أما بالنسبة لأوراق التصوير فان الزمن اللازم لغسيلها فى ماء البحر يقدر بما يتراوح من خمس إلى عشر زمن الغسيل العادى فى المياه العذبة .

ولم يعرف حتى الآن بصفة محددة السبب فى تمتع ماء البحر (وهو أساسا عبارة عن محلول قوته ٢,٦ فى المائة من كلوريد الصوديوم) بهذا التأثير الملحوظ ، ولكنه من المؤكد أن ذلك التأثير يرتبط بالمحتوى الملحى لهذا الماء (أى بكمية الأملاح المذابة فيه) . وقد تم الحصول على نتائج مشابهة عند استخدام محلول من كلوريد الصوديوم قوته ثلاثة فى المائة (من أنقى درجات ملح الطعام) بدلا من ماء البحر .



شكل رقم (٣٩)
التأثير الناتج عن استعمال ماء البحر فى غسيل الأفلام المشغولة



شكل رقم (٤٠)
التأثير الناتج عن استعمال ماء البحر فى غسيل الأوراق الفوتوغرافية

وعلى كل، فانه من حيث دوام الصورة (أى قدرتها على البقاء) يترتب على ترك أى قدر من بقايا كلوريد الصوديوم على الأفلام أو على أوراق التصوير ، إلى زيادة ميل الصورة إلى الخفوت بمضى الوقت . وخاصة فى وجود كميات قليلة من الهيبو .

ومن ثم فانه من الضرورى – بصفة مطلقة – إزالة الأملاح الموجودة فى ماء البحر من فوق المواد الفوتوغرافية بعد غسيلها فيه . وذلك باعادة غسيلها لفترة تتراوح فيما بين دقيقتين إلى خمس دقائق فى ماء عذب . ويؤدى استعمال محلول قلوى كوداك المتعادل فى غسيل أوراق التصوير إلى إنتاج تأثير شديد الشبه بذلك الذى ينشأ عن استعمال ماء البحر أو محلول ملح الطعام الذى قوته ٣٪ ، وذلك بالرغم من عدم وضوح هذا التأثير بدرجة كبيرة .

عوامل غسيل مساعدة :

لقد بينت النتائج التى تم الحصول عليها عند استخدام ماء البحر ومحلول قوته ٣٪ من كلوريد الصوديوم ، أنه يمكن تركيب محلول غسيل أكفأ من أملاح غير عضوية فعالة (مثل كلوريد الصوديوم) ولكنها عديمة الضرر للصورة الفوتوغرافية من حيث دوامها (أى الصورة) . وقد أطلق اصطلاح عوامل الغسيل المساعدة على هذا الصنف من المحاليل . وقد توافرت حديثا عدة منتجات من هذا النوع ذات ملكية خاصة للمصنعين مثل :

BFI 30, G—E Hypo Neutralizer & Kodak Hypo Clearing Agent

وجميعها ذات تأثير متشابه من حيث المقدرة على إزالة الهيبو المتبقى من فوق الأفلام وأوراق التصوير .

وقد تم استعمال هذه المنتجات بنجاح ، سواء عند اتباع نظام للتشغيل بكميات صغيرة أو نظام للتشغيل المستمر بالنسبة لكل من الأفلام والورق . ولكنه يمكن تحديد أفضل طرق الاستخدام التطبيقى لكل نظام تشغيل ، باستعمال اختبارات المراقبة لتحديد تركيز الهيبو المتخلف على الفيلم ، وفى تقدير مدى الفاعلية الحقيقية لمساعدات الغسيل .

وتشتمل أوجه النفع التى يمكن تحقيقها باستخدام مساعدات الغسيل بكفاية على ما يلى : (١) استهلاك أقل للماء والنفقات . (٢) زيادة الإنتاج . (٣) نقص نفقات وأجور العاملين (٤) انخفاض سعر الصورة السالبة والموجبة المطبوعة منها بالنسبة للمستهلك . (٥) تخلف كمية أقل من الهيبو على الأفلام وأوراق التصوير ، مما يزيد بالتالى من الفترة الزمنية التى تظل فيها الصورة باقية دائمة .

الباب الخامس عشر

مستلزمات الغسيل العملية

غالبا ما يتغاضى القائم بالتشغيل عن أهمية الغسيل الدقيق ، بالرغم من أن الحاجة إليه قد عرفت منذ اختراع أوراق التصوير الفوتوغرافى الأولى . والغسيل مرحلة هامة للغاية من مراحل العملية الفوتوغرافية . وللفاعلية التى تجرى بها هذه العملية تأثير مباشر على صفات الحفظ المميزة للصورة السالبة والصورة الموجبة المطبوعة منها .

وليس هناك شىء مثير للضيق أكثر من ذلك الذى نستشعره عندما نجد أن الصور الموضوعة فى ألبوم ، أو المعلقة فى برواز قد تحولت ألوانها إلى الأصفر أو البنى . وكذلك عندما نكتشف أن التسجيلات الفوتوغرافية ذات القيمة الصناعية ، أو الخاصة بالأبحاث ، قد فقدت تفاصيلا هامة بسبب خفوت (أو بهتان) الصورة .

ومن حقنا الآن أن نتساءل عن السبب فى هذه الأهمية التى تحظى بها عملية إزالة المواد الكيماوية (المستخدمة فى تركيب المحلول المثبت) من فوق الصورة الفوتوغرافية.

إذا تركنا الهيبو على الصور الأبيض والأسود السالبة أو الموجبة ، فان هناك تفاعلا ما يحدث بين الهيبو والصورة الفضية ، وينتج عنه كبريتيد الفضة ذو اللون البنى المائل للاصفرار . ويشبه هذا التفاعل ذلك الذى يؤدى إلى تغبش الأدوات المصنوعة من الفضة الذى أشرنا إليه من قبل . فكلا التأثيرين من فعل المركبات المحتوية على الكبريت على الفضة . ففى هذه الحالة — حالة تغبش الأدوات الفضية — يتفاعل كبريتور

الأيدروجين المنبعث من غاز المواقد المستخدمة فى الطهى أو غاز الفحم مثلا ، مع الفضة طبقا للتفاعل الآتى :

يد$_2$ كب + ٢ ف = ف$_2$ كب + يد$_2$

كبريتور الأيدروجين	الفضة المعدنية	كبريتور الفضة	الأيدروجين

وبطريقة مشابهة يتفاعل الهيبو مع الفضة المعدنية المكونة للصورة كما يلى :

ص$_2$ كب$_2$ أ$_3$ + ٢ ف = ف$_2$ كب + ص$_2$ كب أ$_3$

الهيبو	الفضة المعدنية	كبريتور الفضة	سلفيت الصوديوم

ويسمى التغير الذى يلم بلون الصورة نتيجة لهذا التفاعل بالخفوت أو البهتان . وحيث ان أغلب التفاعلات الكيميائية تكتسب سرعة عند درجات الحرارة المرتفعة، وخاصة فى وجود الرطوبة ، فان درجات الحرارة المرتفعة والرطوبة النسبية العالية يسرعان بعملية تحول الفضة فى الصورة إلى كبريتور الفضة . وعندما تتعرض الصور المكبرتة (أى التى قد تحول بعض من فضتها إلى كبريتيد فضة) إلى هذه الظروف القاسية ، لفترات زمنية طويلة ، ولاسيا عندما تكون كمية الهيبو المتبقية عليها عالية جدا ، يتأكسد كبريتور الفضة ببطء إلى كبريتات الفضة ، وهى مركب أبيض اللون وقابل للذوبان فى الماء . وعندما يحدث هذا ، تأخذ الصورة فى الاختفاء فعلا . ويبدأ الخفوت فى مناطق الكثافة المنخفضة . ولا يمكن استعادة ما انطمس من معالم هذه المناطق .

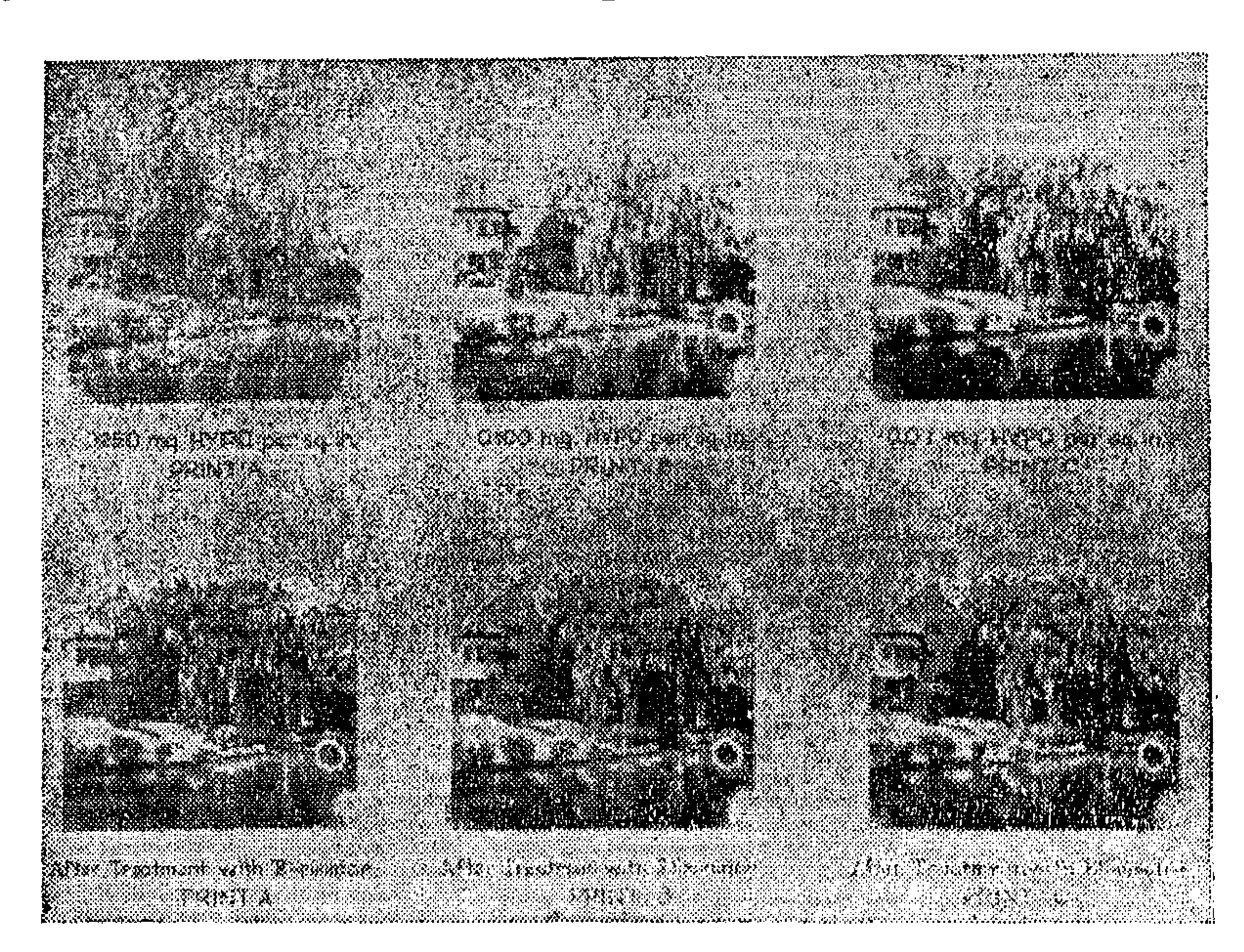
وإذا تركنا مركبات الفضة المعقدة منتشرة فى الصورة السالبة أو الموجبة المشغولة ، فانها تستطيع انتاج كبريتور الفضة . وخاصة فى ظروف الحرارةوالرطوبة المرتفعتين. ويترتب على ذلك ظهور بقع ذات لون بنى مائل للاصفرار من كبريتور الفضة على الصور . وينشأ كبريتور الفضة من تحلل أو تفكك مركبات الفضة والثيوكبريتات (الهيبو) المعقدة التى لم توفق عملية الغسيل إلى إزالتها من فوق الصور .

وقد ينتشر اللون البنى المائل للاصفرار على كل مساحة المادة الفوتوغرافية بما فى ذلك الإطار الأبيض (أو الشفاف) الذى يحد الصورة من نواحيها الأربعة . ومن ثم فان بقاء مركبات الفضة والثيوسلفات على المواد الفوتوغرافية —ولو بكميات طفيفية نسبيا— يؤدى إلى تلوثها فى المستقبل بألوان غريبة غير مرغوب فيها .

وللغسيل الجيد أثناء تشغيل الصور الملونة أهمية مساوية لتلك التى له فى حالة تشغيل الصور الأبيض والأسود . فبالرغم من أن الصورة الملونة تتكون من الصبغة بدلا من الفضة ، فانها معرضة كذلك لمهاجمة الهيبو أو أى مادة من كيماويات التشغيل المتخلفة على العجينة الفونوغرافية . وتتكون الصورة الملونة من ثلاث صبغات مختلفة الألوان : الصفراء والماجنتا والسيان . ومن البديهى أن المواد الكيميائية تؤثر على كل صبغة بالذات من الصبغات الثلاثة بطريقة معقدة جداً . ولذلك نلقى صعوبة أكبر فى التنبؤ بنتائج ذلك التأثير .

وحيث ان الصور الملونة يمكن أن تتأثر — بدرجة ملحوظة — بأقل التغيرات التى تلم بنسب الصبغات ، فمن المحتمل أن يؤدى بقاء المواد الكيماوية على العجائن الفوتوغرافية بعد التشغيل إلى الحاق أضرار خطيرة بجودة الصورة .

ومن ثم فانه من الهام فى أى عملية من عمليات تشغيل المواد الملونة أن يراعى توفير الغسيل الكافى كما ذكرنا فى الباب السابق . وأن تتبع تعليمات التشغيل بدقة . وفى عمليات تشغيل الأنواع المختلفة من المواد الفوتوغرافية الملونة



شكل رقم (٤١)

خفوت الصور بتأثير الهيبو الذى لم يمكن إزالته بالغسيل . تبين الصورة الموجبة السفلى النتيجة التى يتم الحصول عليها عند التخلص من الهيبو فى المحلول المخصص لذلك ، والمسمى (Hypo Eleminator HE—1 Hypo)

تشتمل الخطوات الأخيرة من دورات التشغيل على حمامات ذات تركيب كيميائى يختلف باختلاف نوع الفيلم أو المادة الملونة الجارى تشغيلها . وبالتالى تتنوع مستلزمات الغسيل الذى يلى المعالجة فى هذه الحمامات . وبذلك تعتبر محاولة دراسة جميع هذه العمليات بالتفصيل مسألة غير عملية . ومن ثم فسوف نقصر مناقشاتنا فى الجزء الباقى من هذا الباب على مقتضيات الغسيل عامة ، وبعض العوامل المؤثرة فى غسيل الصور الفضية الأبيض والأسود بعد مرورها بمرحلة التثبيت العادية .

وسوف نناقش عمليات غسيل الأفلام وأوراق الطبع الفوتوغرافية ، كل منهما على حدة ، لما بينهما من اختلاف فى البناء . فالأفلام تتكون من طبقة من العجائن الفوتوغرافية المفروشة على الدعامات الفيلمية التى لا تمتص محاليل التشغيل . أما أوراق الطبع الفوتوغرافى فانها تتكون من ثلاث طبقات : الدعامة الورقية ، وفراش الباريتا Baryta Coating ثم العجينة الفوتوغرافية . وجميعها تمتص المواد الكيميائية فى حمام التثبيت وتحتفظ بها . وتسلك الأوراق الفوتوغرافية المخصصة للنسخ الفوتوغرافى وتطبيقاته (مثـــل إعادة الحصول على اللوحات المرسومة بالنسخ الفوتوغرافى) على نفس المنوال فهى تتكون من الدعامة الورقية وطبقة العجينة الفوتوغرافية التى تغطيها . وهناك استثناء واحد يتمثل فى الأوراق المضادة للماء Water Proof التى تسلك أساسا بنفس الكيفية التى تسلك بها المواد الفوتوغرافية الأخرى فهى عبارة عن عجينة فوتوغرافية مفروشة على أوراق مقاومة للبلل .

تشغيل الأفلام :

يعتبر استعمال حمامات التثبيت الحامضية المكسبة للصلابة طريقة عملية فى تشغيل الأفلام الفوتوغرافية عامة . وذلك لأنه لا يمكن إكساب العجائن الفوتوغرافية أثناء التصنيع درجة كافية من الصلابة ، تسمح بتداول الفيلم بأمان طوال خطوات التشغيل المتعددة المحتمل أن يجريها المستهلك بنفسه . ولكنه يمكن فى بعض الحالات الانتفاع بمزايا حمامات التثبيت غير المكسبة للصلابة أو بمزايا حمامات تثبيت خاصة حامضية ومكسبة للصلابة .

وعند استعمال شب البوتاش فى حمامات التثبيت (وهو عبارة عن مادة تكسب الصلابة للجيلاتين) يجب زيادة زمن الغسيل بدرجة كبيرة عن ذلك اللازم

بعد التثبيت فى حمام غير مكسب للصلابة ، ولكن قيمة الأس الأيدروجينى للمحلول لها تأثير كبير على عملية إكساب الصلابة وذلك كما بينا فى الشكلين رقم (٣٨) و (٣٩). ولا يتطلب استعمال شب الكروم كمادة مقوية للجيلاتين زيادة زمن الغسيل . ولكن هذه الميزة لا تقدم من النفع ما يعوض عن المصاعب العملية التى يتم التعرض لها من جراء استعمال حمامات شب الكروم ، وصعوبة اخضاعها للتحكم والمراقبة .

وحيث ان الدعامة الفيلمية لا تمتص المواد الكيميائية الداخلة فى تركيب محاليل التشغيل ، فان كل المطلوب من مرحلة الغسيل هو مجرد ازالة المواد الكيميائية من طبقة العجينة الفوتوغرافية . وتعتبر هذه العملية فى حد ذاتها سهلة ، وغير معقدة ، ولا تستلزم إلا توافر مصدر مائى مناسب ، وأداة تشغيل ملائمة للامساك بالفيلم .

تشغيل أوراق الطبع الفوتوغرافى :

تعتبر أوراق الطبع الفوتوغرافى أكثر صعوبة فى غسيلها من الأفلام . وذلك أولا لأن كمية الهيبو المتخلفة التى تحتفظ بها الدعامة الورقية وفراش الباريتا تفوق إلى حد بعيد تلك التى تحتفظ بها طبقة العجينة الفوتوغرافية الرقيقة نسبيا الموجودة على الدعامات الفيلمية . ويمكن تأكيد ذلك بواسطة الاختبارات الفوتوميكروغرافية Photomicrographic لقطاعات من أوراق الطبع الفوتوغرافى التى قد عولجت فى محلول نترات الفضة لتحويل الهيبو إلى كبريتور الفضة ذى اللون البنى .

وهناك علاقة واضحة جدا بين زمن التثبيت وبين كفاية عملية غسيل أوراق الطبع الفوتوغرافية . فقد وجد أن زيادة أزمنة المعالجة فى محاليل التثبيت عن تلك التى ينصح بها عادة والتى تتراوح فيما بين خمس دقائق إلى عشر دقائق يؤدى إلى زيادة انتشار الهيبو خلال البناء الداخلى لأنسجة الورقة وكذلك فى الفجوات القائمة بين هذه الأنسجة. ومن الصعب للغاية إزالة ذلك الهيبو القابع داخل بناء الأنسجة بواسطة الغسيل. وقد تم التأكد من هذا باختبارات الغسيل العملية التى أجريت على كلا نوعى الأوراق ذات الوزن المنفرد ، وتلك ذات الوزن المزدوج التى عولجت فى محاليل التثبيت لفترات زمنية طويلة للغاية . وقد بينت هذه التجارب ، عن طريق التحاليل الكيميائية ،

أن أوراق الطبع الفوتوغرافية ذات الوزن المزدوج تحتوى تقريبا على ضعف كمية الهيبو المتخلفة فى الورق ذى الوزن المنفرد ، حتى بعد استمرار الغسيل لمدة ثمان وأربعين ساعة . ومن الناحية الأخرى ، قد أمكن عند استعمال أزمنة التثبيت الموصى بها غسيل كلا النوعين فى نفس الفترة الزمنية ، وتخلف الهيبو عليهما بنفس التركيز . ومن ثم يجب تثبيت أوراق الطبع الفوتوغرافى طبقا لتوصيات مصنعها أى على أزمنة تتراوح من خمس دقائق إلى عشر دقائق فقط لتحقيق الحد الأقصى للدوام والحد الأدنى للزمن المستغل فى الانتاج .

مصدر ماء الغسيل :

تؤثر صفات الماء المستخدم فى الغسيل على المواد الفوتوغرافية التى تغسل فيه . ومن هذه الصفات المواد الذائبة فيه ومدى تلوثه بالمواد الغريبة . ومن الحقائق المألوفة لكل فرد تقريبا أن بعض الماء الرائق تماما يسمى بالماء العسر ، وأن سبب العسر هو أملاح الكالسيوم أو المغنسيوم الذائبة فيه ، نتيجة لسريان الماء عبر أو فوق أنواع معينة من التربة أو التركيبات الصخرية . وتنشأ القشور التى تتواجد فى الغلايات البخارية أو التنكات نتيجة ترسب هذه الأملاح من الماء العسر بعد تبخيره . وليس للماء العسر أى تأثير ضار بالنسبة للأهداف المطلوب من عملية الغسيل تحقيقها . ويمكن استعماله دون خشية خطر تهديده لبقاء الصور السلبية أو الإيجابية .

ولكن الماء العسر قد يكون ملوثا أحيانا بالمواد المعدنية المترسبة أو ببعض دقائق الصدأ من المواسير الحديدية التى مر خلالها . ويمكن إزالة هذه الدقائق من الماء باستعمال مرشح مناسب . ويستطيع الصدأ أن يلتصق بالعجينة الفوتوغرافية ، محدثا بقعة بنية اللون على الايجابية أو السلبية . ويترتب على ذلك ، فى كلتا الحالتين ، تشويه المظهر العام للصورة الايجابية ، أو تكوين بقع معتمة على السلبيات ، تظهر كبقعة بيضاء على الإيجابيات التى تطبع منها . وقد تلتصق الدقائق المعدنية مثل الرمل بالسلبيات وتحدث بها خدوشا عند محاولة إزالتها .

وهذه مسألة خطيرة فى عمليات التشغيل التجارى لسلبيات المحترفين ، وخاصة تلك الصغيرة الحجم ، مثل السلبيات التى يتم تعريضها فى آلات التصوير الصغيرة الحجم ، لطبع الصور الكبيرة منها بآلات التكبير .

وقد يحتوى الماء الموجود فى بعض المناطق مثل تلك المحتوية على صخور نارية ، على كبريتيدات (أى كبريتوارت) ذائبة . ويعتبر غليان الماء أفضل الطرق التى تتبع لإزالة الكبريتيدات ، إذ تتصاعد على هيئة غاز كبريتور الأيدروجين . ويجب إزالة هذه المركبات ، لأنها إذا بقيت فى الماء ووصلت إلى العجينة الفوتوغرافية تستطيع أن تؤثر على الصور الفضية على السلبيات أو الايجابيات . وفى بعض الأحيان قد لا يتوافر إلا الماء الموجود فى مناطق المستنقعات ، حيث يكون ملوثا بسبب إذابته للمواد الملونة المتبقية من الخضروات المتآكلة . ويمكن ازالة هذه البقايا بغلى الماء وترشيحه .

ومن المنطقى أن نقرر بصفة عامة أن المصدر المائى يعتبر ملائما بالنسبة لمقتضيات غسيل المواد الفوتوغرافية إذا كان رائقا ، نظيفا ، خاليا من الصدأ أو من الدقائق المعدنية ، ولا تنبعث منه رائحة الكبريتور عند تسخينه ، وحتى ماء البحر يمكن استخدامه كما ذكرنا من قبل فى الباب السابق .

الاختبارات التى تجرى لمراقبة عملية الغسيل :

من الضرورى لتقدير كفاية عملية غسيل المواد الفوتوغرافية المشغولة أن نستعين بالاختبارات التى تبين كميتى الهيبو والفضة المتخلفة عليها . وقد تمت التوصية باختبارات كثيرة وردت فى الأبحاث الفوتوغرافية . ويقوم أغلبها على التفاعلات الكيميائية التى تتم بين المواد الكيميائية المختلفة وبين منقوع القصاصات الصغيرة من السلبيات أو الايجابيات فى الماء . أو يقوم على القياسات الكهربائية لماء الغسيل . وتعتبر هذه الطرق غير دقيقة لأنها لا تدخل فى اعتبارها أملاح الهيبو والفضة المتخلفة بين ثنايا العجائن الفوتوغرافية . ويصدق هذا بالذات على حالة أوراق الطبع الفوتوغرافية التى تتركب من دعامة ورقية وطبقة عجينة فوتوغرافية وفرش الباريتا . ولهذه الطبقات الثلاث مقدرة على الاحتفاظ بالهيبو بحيث يصبح من الصعب إزالته ، وبالتالى لا ينتشر خارج قصاصات الورق المنقوعة فى الماء. وقد أكدت الأبحاث المتسعة هذه الحقائق وبينت أن التجارب التى تجرى لتقدير كميتى الهيبو والفضة المتخلفتين على الأفلام يجب أن تجرى على قصاصات من الصور السالبة أو الموجبة .

الاختبارات التى تجرى على الايجابيات :

وصف كرابترى Crabtree ، وايتون Eaton ، موهلر Muehler فى عام ١٩٤٣ اختبارا كميا لتقدير كمية الهيبو المتخلفة فى أوراق التصوير الفوتوغرافى . وتم تشغيل قطعتين من الورق ، إحداهما لم تستقبل تعريضا ضوئيا ، بينما الأخرى قد استقبلت تعريضاً ضوئياً ، ولكنهما من نفس الحجم والنوع . ومرت قطعة الورق غير المعرضة للضوء بجميع مراحل دورة التشغيل. ثم غمرت بعد الغسيل فى محلول حامضى من نترات الفضة ، حيث يتفاعل مع الهيبو منتجا عليها لطعة بلون بنى مصفر من كبريتيد الفضة .

وأزيل الفائض من نترات الفضة بمعالجة ورقة التصوير فى محلول كلوريد الفضة لتحويل نترات الفضة إلى كلوريدها ، حيث يمكن إذابته بعد ذلك فى محلول الهيبو .

ولا بد من اتباع هذه الطريقة من أجل إزالة نترات الفضة الفائضة حتى لا تسود عند تعريضها للضوء وتعطى تحليلا زائفا .

وقاموا بقياس الكثافة الضوئية على الورق قبل وبعد المعالجة فى محلول نترات الفضة بواسطة جهاز قياس كثافة مزود بالمرشح كوداك راتن رقم ٤٤ ذى اللون الأخضر — الأزرق . ويرجع الفرق بين القرائتين إلى كثافة كبريتيد الفضة التى تتناسب بالتالى مع الهيبو المتخلف (أى الموجود) على الورقة . وتمت قراءة كمية الهيبو من منحنى قياسى يبين العلاقة بين الكثافة وتركيز الهيبو . وتعتبر هذه الطريقة كمية ، ولا ينبغى استعمالها فى عمليات للتقدير الدقيق للهيبو المتخلف .

ونظرا لعدم ملاءمة هذه الطريقة الكاملة للاستعمال فى الكثير من عمليات الانتاج بالاستديوهات والمعامل ، فقد تمت التوصية بتحويرها إلى اختبار أبسط ، ويسمى باختبار النقطة (أو البقعة) وهو يعطى تقديرا تقريبيا ونوعيا . ويقتضى هذا الاختبار وضع نقطة من محلول نترات الفضة المضاف إليها حامض الخليك (أى نترات الفضة الحامضية) على الطرف غير المطلوب من سطح العجينة الفوتوغرافية إما على ورقة مشغولة مبتلة ، وإما على ورقة غير مشغولة من الأوراق المستخدمة فى الاختبار . وبعد أن ينقضى الزمن اللازم لاتمام التفاعل (وهو يتراوح من دقيقتين إلى ثلاثة)

تقارن البقعة (أو اللطعة) الناتجة بمجموعة من البقع المدرجة المطبوعة. ويعتبر تدريج تقدير الهيبو الذى تنتجه شركة كوداك ذا فائدة فى هذا الشأن .

الاختبارات التى تجرى على الأفلام الفوتوغرافية :

وصف كرابترى ، وروس فى ١٩٣٠ طريقة للتقدير الكمى للهيبو المتخلف على عينات من الأفلام . وقد وضعا هذه الطريقة على أساس مقارنة التعكر الناتج فى محلول اختبار بتلك التعكرات التى تنتجها كميات معلومة من الهيبو . واستعملا عدة أنابيب اختبار وضعا فى كل منهما عشرة سنتيمترات مكعبة من محلول اختبار يحتوى على كلوريد الزئبقيك وبروميد البوتاسيوم مضافة إلى بعضها . ثم أتيا بمحلول يحتوى على كمية معروفة من الهيبو ووضعا منه كميات متزايدة فى جميع أنابيب الاختبار المذكورة إلا اثنتين منها ، حيث وضعا فى إحداهما قطعة مثنية من فيلم مشغول مساحتها بوصة مربعة واحدة . وظهر فى جميع الأنابيب راسب أبيض مباشرة تقريبا ، مما جعل السوائل الموجودة بها تبدو عكرة أى محملة بالشوائب . وبعد حوالى خمس دقائق مع التقليب من آن لآخر ، قاما بمقارنة الراسب المتكون فى الأنبوبة المحتوية على عينة الفيلم بالراسب الأبيض الناتج فى بقية الأنابيب لمعرفة أى الأنابيب تحتوى على أكثر الرواسب شبها بذلك الناتج فى تلك المحتوية على عينة الفيلم . ومن ثم تكون كمية الهيبو المتخلفة على الفيلم مساوية لكمية محلول الهيبو الذى قد أضيف للأنبوبة التى يشبه الراسب الموجود بها ذلك الذى ظهر فى الأنبوبة المحتوية على عينة الفيلم . ويمكن بهذه الطريقة قياس تركيزات الهيبو التى تقل عن ٠,٠٠٥ ملليجرام فى البوصة المربعة . وقد أصطلح على قبول هذه الطريقة بمثابة اختبار قياسى لتقدير كمية الهيبو المتخلفة على الأفلام . وقد أوصى مكتب المواصفات القياسية بواشنجطن ، د . س National Bureau of Standards, Washingtion, D. C. باستعمال هـذا الاختبار لتقدير كمية الهيبو المتخلفة على التسجيلات الفيلمية الدائمة . وقد حددت لها مواصفات تقتضى ألا تحتوى هذه التسجيلات على أكثر من ٠,٠٠٥ من الملليجرام من الهيبو فى البوصة المربعة من الفيلم .

وبالرغم من التقدير الكمى الذى تتيحه هذه الطريقة فانها تستنفذ وقتا. ومن الصعب استخدامها كاختيار روتينى فى عمليات مراقبة أعمال التشغيل التجارية(*)

(*) يقصد المؤلف أعمال التشغيل التجارية بالمعامل الفوتوغرافية فقط . أما بالمعامل السينمائية ، فانها هى الطريقة الوحيدة المستعملة . (المترجم)

وبالتالى يستخدم اختبار البقعة بواسطة محلول نترات الفضة وحامض الخليك الذى وصفناه من قبل عند الحديث عن تقدير الهيبو المتخلف على عينات من الأفلام بعد تعديله لملاءمة هذا الغرض كما يلى : توضع نقطة من المحلول على مساحة شفافة (أو رائقة) على طرف الفيلم . وبعد ترك الفيلم لفترة تتراوح بين دقيقتين وثلاث دقائق يشطف بالماء . ويعطى مدى وضوح البقعة الناتجة على الفيلم تقديرا مناسبا لكمية الهيبو المتخلفة . ويمكن عمل تقدير كمى متوسط الدقة بمقارنة البقعة الناتجة ببقع ملونة قياسية على تدريج كوداك لتقدير اللهيبو الذى يحتوى على بقع ملونة مطبوعة على لوحة من أسيتات السيلوز ، بأحبار طبع منتقاه لشدة شبهها بالبقع الناتجة على الاختبارات الفيلمية المحتوية على كميات معلومة مختلفة من الهيبو .

اختبار لتقدير كمية الفضة المتخلفة :

يؤدى الاستمرار فى استعمال حمامات التثبيت حتى يصبح تركيز مركبات الفضة فى المحلول عاليا جدا إلى احتفاظ الأفلام والأوراق الفوتوغرافية التى يتم تثبيتها فيه ببعض هذه المركبات حتى بعد مرورها بعمليات غسيل مطولة ودقيقة . وتستطيع هذه المركبات الفضية أن تتحلل كما قررنا من قبل منتجة كبريتور الفضة الأصفر اللون الذى يبدو بمثابة بقعة فوق كل مساحة السلبية أو الايجابية . وهو يبدو على درجة أكبر من الوضوح على أوراق الطبع بالذات بسبب خلفيتها البيضاء . والكمية الفعلية لمركبات الفضة المعقدة اللازمة لانتاج هذا التأثير صغيرة جدا ، ولم يتم التوصل حتى الآن إلى طريقة لتقديرها تقديراً كميا . ولكنه يمكن تقدير اللطع التى قد تنتج بالذات فى ظروف الحرارة والرطوبة العاليين بطريقة تقريبيةبواسطة اختبار النقطة البسيطة (Simple Drop Test) ، وهو يشتمل على وضع نقطة من محلول مخفف جدا من كبريتور الصوديوم (تركيزه ٠,٢٠ ٪) على المساحة الخالية من الصورة على المادة الفوتوغرافية الجافة (سواء أكانت فيلما أم ورقا) على أن تكون خالية من نقط الماء . ثم ملاحظة ظهور لطعة ملونة عليها بعد مضى حوالى دقيقة . ويجب إزالة الكمية الفائضة من محلول الاختبار بواسطة مقبض

ورق النشاف قبل فحص اللطع التى تظهر على مساحة الاختبار . ومن الواضح أن الاختبار سوف يكون سالبا (أى لن تظهر اللطع) إذا كانت الأفلام أو الأوراق المطلوب اختبارها قد تم تثبيتها جيدا . بينما يشير ظهور أى بقع بلون أصفر خفيف إلى تواجد فضة متخلفة . ويجب إزالة هذه الفضة المتخلفة باعادة تثبيت الورق أو الفيلم فى محلول تثبيت طازج ، ثم الغسيل بالماء .

مستلزمات الغسيل فى التطبيق العمل :

لقد ناقشنا بعضا من العوامل الهامة التى تؤثر على كفاية عملية غسيل المواد الفوتوغرافية. وهذه العوامل ذات أهمية بالنسبة للانتاج فى أى استديو أو معمل يتطلع إلى التشغيل الناجح .

ومن حقنا أن نتساءل الآن :

إلى أى حد يتحتم علينا أن نستمر فى مرحلة الغسيل ؟

وتتوقف الإجابة بالطبع على الغرض الذى قد تم إعداد الصورة الفوتوغرافية من أجله . فمثلا لا يحتاج الكثير من المجالات الصناعية إلى استعمال التسجيلات الفوتوغرافية إلا لفترات زمنية قصيرة جدا ثم تهمل بعد ذلك . وليس من الضرورى فى هذه الحالات بذل الجهد فى سبيل إزالة جميع الهيبو والفضة المتخلفين على الصور. أما بالنسبة للمعامل الفوتوغرافية للمحترفين، والمصور الذى يعد الصور الشخصية، والمنتج السينمائى ، وكثيرين غيرهم من الذين يهتمون بانتاج تسجيلات فوتوغرافية يحتاج المستهلك إلى الاحتفاظ بها لفترات زمنية طويلة ، فان الأمر يختلف . ويجب أن نأخذ فى اعتبارنا كل حالة من حالات التطبيق الفوتوغرافى هذه، وأن ندرسها جيدا من حيث مدى الدوام (أو البقاء) المرغوب فيه للتسجيل الفوتوغرافى ، ثم نضع خطة التشغيل بناء على هذه الدراسة . وإذا ظهر لنا أى شك ، فانه يجب أخذ جميع الاحتياطات العملية الكفيلة بضمان انتاج أكثر التسجيلات بقاء ودواما .

فى حالة عدم الحاجة إلى توفير حياة طويلة للتسجيل الفوتوغرافى ، فانه ليس من الضرورى ازالة كل الفضة والهيبو المتخلفين على المادة الفوتوغرافية إلى الحد الأدنى المطلق . ومن ثم يتغير التطبيق العملى للغسيل فى الممارسة العملية تبعا للمطلبين الآتيين :

١ — الغسيل التجارى للمواد التى نتوقع لها حياة تقدر بعدة أجيال أو نحو ذلك .

٢ — الغسيل الأرشيفى Archival الذى يحتم إزالة كل المواد من فوق العجينة الفوتوغرافية ، سواء فى ذلك المواد التى قد تؤثر على منطقة الصورة أو تلك التى قدتؤثر على المنطقة الخالية منهاأثناء فترة حياة الصورة الطويلة . ومن الصعب، بل المستحيل أن تقدر درجات تركيز نوعية للهيبو المتخلف التى يمكن السماح ببقائها على المواد الفوتوغرافية . إلا أنه قد أمكن اقتراح بعض الأرقام التى تشير إلى الحد الأقصى لدرجات تركيز الهيبو المسموح ببقائها على بعض أنواع الأفلام والأوراق الفوتوغرافية ، وتم ذلك على أساس الخبرة بالتشغيل فى الظروف الجوية الحارة بالاضافة إلى الاختبارات التى أجريت عند درجة حرارة قدرها ١١٠ فهرنهيتى ودرجة رطوبة نسبية مقدارها ١٠٠ ٪ للتعجيل بخفوت الصورة أو بهتانها .

الحد الأقصى المقترح لتركيزات الهيبو المسموحة بها

	للاستعمال التجارى ملليجرام لكل بوصة مربعة	للاستعمال الأرشيفى ملليجرام لكل بوصة مربعة
بالنسبة للأفلام		
الفيلم السينمائى الموجب الدقيق الحبيبات.	٠٫٠٢	٠٫٠٠٥
الفيلم السينمائى السالب الكبير الحبيبات.	٠٫٢٠	٠٫٠٠٥
أفلام الهواه والمحترفين	٠٫١٥ — ٠٫٢٥	٠٫٠٠٥
أفلام أشعة أكس	٠٫٢٥ — ٠٫٥٠	٠٫٠٠٥
أفلام أشعة أكس الدقيقة الحبيبات	٠٫١٥ — ٠٫٢٥	٠٫٠٠٥
بالنسبة للطبع الفوتوغرافى		
الأوراق ذات الوزن المزدوج	٠٫١٠ — ٠٫١٥	لا شىء
الأوراق ذات الوزن المنفرد	٠٫٠٥ — ٠٫١٠	لا شىء

ومن الوجهة العامة يمكن القول بأن الفوارق القائمة بين الحدود القصوى لدرجات التركيز المسموح ببقائها على الأفلام المختلفة الأنواع ترجع إلى حقيقة أن ميل العجائن الفوتوغرافية الدقيقة الحبيبات للخفوت تحت الظروف المعجلة بالخفوت يعتبر أسرع منه بالنسبة للعجائن الكبيرة الحبيبات .

والكميات المسموح ببقائها على الأفلام (أفلام الهواة والمحترفين) وأفلام أشعة اكس أكثر ارتفاعا، وذلك إما لأن هذه الأنواع أكثر بطأ فى الخفوت كما فى حالة أفلام أشعة أكس ، وإما لأن مستلزمات المحافظة على الصورة ليست صارمة كما هو الحال بالنسبة لأفلام الهواة والمحترفين .

وسواء أكانت التركيزات المقترحة للهيبو المتبقى مرتفعة جدا أو منخفضة جدا فان ذلك يتوقف على ظروف التخزين أو الحفظ . وخاصة بالنسبة للرطوبة النسبية ودرجة الحرارة . فمثلا أمكن تخزين الصور الفوتوغرافية المحتوية على ٠,١٠ من المليجرام من الهيبو فى البوصة المربعة لعدة سنوات فى أدراج حفظ الملفات عند درجات حرارة معتدلة بدون أن يصيبها ضرر ، فى حين قد خفتت طبعات مشابهة لما قد تم تخزينها فى ظروف حارة . ومن ثم يجب أن يكون الغسيل فى المناطق الحارة أكثر دقة ، لتحسين صفات بقاء الصورة . وربما كان من المجدى أن يستخدم فى هذه الحالة مزيل مناسب للهيبو لازالة أقل آثاره . وللوصول بهذه المناقشة إلى نهايتها رأينا أن نذكر بعض العوامل المحددة الهامة التى يجب الأخذ بها عند تخزين السلبيات والايجابيات المطبوعة على الورق الفوتوغرافى .

ففى أغلب الأحيان تحفظ السلبيات فى أظرف مصنوعة من ورق الكرافت ويتم لصق أطراف الظرف الواحد (أثناء صناعته) من منتصفه . وفى الكثير من أنواع هذه الظروف تستخدم مادة لاصقة تستطيع أن تمتص بخار الماء من الهواء الجوى . ويترتب على وجود الصور فى هذا الغلاف المشبع ببخار الماء قيام حالة مكافئة — من حيث جميع الأغراض العملية — لوجود الصور فى جو تسوده درجة عالية من الرطوبة النسبية . وإذا احتوت الصورة السلبية على هيبو وفضة (متخلفين عليها بعد الغسيل) فان مناطق الصورة المقابلة لموضع اللحام بالظرف سوف تخفت (تبهت) . ومن ثم يجب استعمال ظروف ملصوقة من جانبيها ،

وليس فى وسطها . وأن تستعمل فى اللحام مادة لا تمتص بخار الماء . وتحتوى نشره المواصفات القياسية الأمريكية رقم 21 . 8 . Z38 على مواصفات أظرف تخزين الصور السلبية .

وعلى نفس المنوال تلصق الصور الايجابية على صفحات الألبوم بمادة لصق لا تستطيع أن تمتص الرطوبة، ولا تحتوى على الكبريت . فكلاهما ، أى الرطوبة والكبريت ، قادر على أن يحدث خفوتا موضعيا فى الصورة . وأفضل طرق اللصق هى تلك التى يستعمل فيها نسيج صمغى لاصق .

ملحق رقم (١)

عمليـات التصوير بالألوان

تختلف المواد الكيميائية المستخدمة فى إكساب الحساسية للمواد الفوتوغرافية الملونة عن تلك المستخدمة فى إكساب الحساسية للمواد الفوتوغرافية الأبيض والأسود بأنها أكثر تعقيداً .

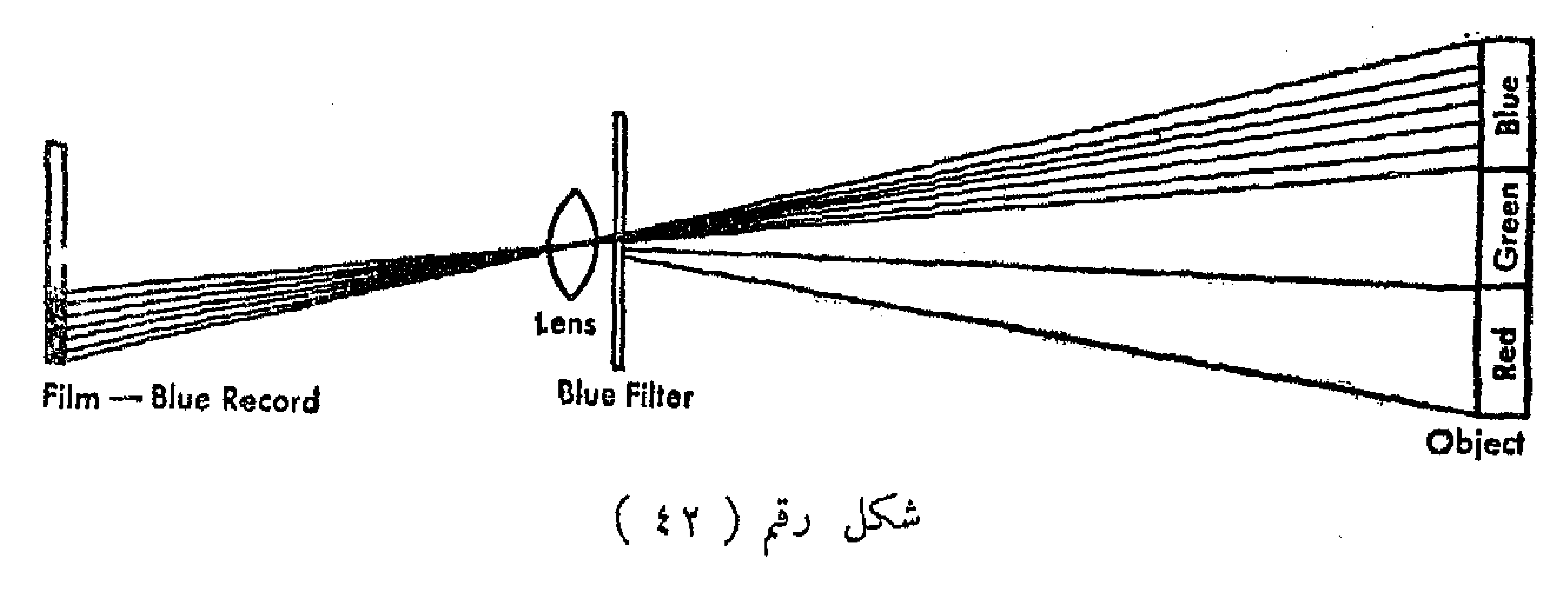
وتقوم جميع عمليات الألوان المعروفة على نفس القواعد الأساسية العامة .

لقد تم وصف القواعد العامة للتصوير الفوتوغرافى الثلاثى الألوان فى كثير من الأبحاث العلمية . وسنورد فيما يلى عرضا عاما مختصرا لهذه القواعد . وقد عمدنا فى ذلك الموجز إلى التركيز على ما فى العمليات الملونة من تعقيدات لا وجود لها فى التصوير الفوتوغرافى الأبيض والأسود ، سواء قامت العملية على أساس نظام السالب/ الموجب أو على النظام العكسى . ويساعدنا فهمنا لبناء المواد الملونة ومعرفة كيفية انتساب عمليات تشغيل الأفلام الملونة إلى عمليات تعريضها ، على الإلمام بهذه القواعد العامة .

وقد أشرنا فى الباب الرابع إلى أنه يمكن تجزئة الحزمة المرئية إلى ثلاثة مناطق ملونة هى الأزرق والأخضر والأحمر ، وذلك باستعمال ثلاثة مرشحات ملونة زرقاء وخضراء وحمراء على الترتيب . فيقوم كل مرشح منها بانفاذ لونه وامتصاص بقية الألوان . ويحدث نفس الشىء عند تصوير الأجسام الملونة المضاءة بالضوء الأبيض على فيلم أبيض وأسود خلال مرشح مركب على عدسة آلة التصوير ، إذ يقوم المرشح بانفاذ لونه نفسه ويمتص بقية الألوان . فاذا كان المرشح أزرق ، فان الفيلم

يسجل أجزاء الموضوع المصور ذات اللون الأزرق شكل رقم (٤٢) ولكنه لا يسجل أى اون من ألوان الموضوع الأخرى .

ومن ثم فاننا نستطيع باستعمال عجينة فوتوغرافية ذات حساسية من النوع البانكروماتيك، وثلاثةمرشحات ملونة بالألوان الأولية الثلاثة: الأزرق والأخضر والأحمر، أن نحصل على ثلاثة تسجيلات منفصلة على الفيلم الموجود داخل آلة التصوير لأجزاء الموضوع المصور ذات الألوان الزرقاء والخضراء والحمراء . وهي تسجيلات الألوان الأساسية للموضوع .



شكل رقم (٤٢)

ومن المستحيل أن يتم فى التصوير الفوتوغرافى العملى إعداد ثلاثة تسجيلات منفصلة — كل واحدة منها على لوح واحد من ثلاثة ألواح فيلمية — لموضوع متغير أو متحرك إلا إذا استخدمنا آلة تصوير بالغة التعقيد باهظة التكاليف . وحتى بهذه الآلة يجب تحويل التسجيلات الأبيض والأسود الثلاثة المنفصلة بعد ذلك إلى صور إيجابية ملونة ، مما يحتاج إلى عديد من الأجهزة وإلى توافر الخبرة والوقت . ومن حسن الحظ أنه قد أصبح من الممكن تصنيع أفلام ملونة خاصة تستطيع تسجيل الألوان المنفصلة فى نفس الوقت . وأن نحصل منها بعد تشغيلها على الشفافية الملونة النهائية . وتسمى هذه الأفلام بالأفلام الملونة المتكاملة الثلاثية الطبقات، ومن أمثلتها الفيلم الكوداكروم، والفيلم الاكتاكروم، والفيلم كوداك اكتاكولور [١] .

ويبين الشكل رقم (٤٣) الطبقات التى يتألف منها هذا النوع من الأفلام الملونة . ويسقط الضوء أثناء التعريض على الطبقة الحساسة للضوء الأزرق

---

(١) الأول والثانى من النوع العكسى ، والأخير من النوع السالب .
المترجم .

أولا فينشأ عليها تسجيل للأجزاء الزرقاء فى الموضوع المصور (صورة كامنة لها) . وهذه الطبقة حساسة للضوء الأزرق فقط ، ولا تستجيب للضوء الأخضر أو الضوء الأحمر . ومن ثم لا نحصل على هذه الطبقة إلا على تسجيل للأجزاء الزرقاء . ولكن هاليدات الفضة الموجودة فى جميع طبقات الفيلم الملون حساسة للضوء الأزرق ، ولا يصل الضوء الأزرق إلى الطبقتين السفلتين على الفيلم بفضل وجود طبقة من مرشح أصفر موضوعة بالكاد تحت طبقةالعجينةالفوتوغرافية الحساسة للضوء الأزرق . وتتكون هذه الطبقة من جزئيات دقيقة من الفضة وهى تسمى « Carey—Lea Silver » وهى بفضل لونها تمتص الضوء الأزرق من الضوء المار خلالها .



شكل رقم (٤٣)

ترتيب الطبقات على فيلم ملون

وتحتوى طبقة العجينة الفوتوغرافية الحساسة للضوء الأخضر على مكسبات معينة الحساسية الطيفية تجعل هاليدات الفضة حساسة للضوء الأخضر دون الأحمر الذى ينفذ خلالها إلى الطبقة السفلى .

وتحتوى طبقة العجينة الفوتوغرافية على صبغات مكسبة للحساسية الطيفية تجعل هاليدات الفضة حساسة للضوء الأحمر

وبالتالى فان الضوء النافذ خلال عدسة (آلة التصوير) الى الفيلم تتم تجزئته بواسطة طبقات الفيلم الملون المختلفة محدثة الانفصال اللونى . وتغطى خلفية الدعامة الفيلمية بطبقة مانعة للهالة الضوئية لتحسين قوة التحديد فى الصورة النهائية ، إذ تمنع الضوء الذى قد ينفذ عبر جميع طبقات العجينة الفوتوغرافية من الانعكاس مرتدا من فوق الدعامة الى طبقات العجينة الفوتوغرافية .

العمليات العكسية الملونة :

يمكن تمثيل بناء (أو تركيب) الأفلام العكسية الملونة المشغولة بالشكل رقم (٤٤) .

وقد نتساءل عن السبب فى أن الصبغات التى تتكون أثناء التشغيل تكون بالألوان الصفراء والماجنتا والسيان ، وليس الزرقاء والخضراء والحمراء ؟

وهناك حقيقتان هامتان لابد من وضعهما فى الاعتبار حتى يمكن فهم هذه العملية الملونة :

١ – إن التعريض الأصلى يحدث تسجيلات للأجزاء الزرقاء والخضراء والحمراء التى يحتوى عليها الموضوع المصور .

٢ – إن رؤية الشفافية الملونة النهائية التى تنتج على الفيلم العكسى الموجب أو تلك التى نحصل عليها من طبع الفيلم الملون السالب تتم فى الضوء الأبيض . وهى يجب أن تسمح للكميات الصحيحة بالكاد من الألوان الزرقاء والخضراء والحمراء بالوصول إلى العين خلالها حتى تصبح شبيهة بالموضوع الأصلى . ونحصل على هذا التحكم فى الألوان عن طريق السماح للألوان المكملة للأزرق والأخضر والأحمر بالنشوء على المادة الفوتوغرافية الملونة أثناء التشغيل . وهى (أى الألوان المكملة) : الأصفر والماجنتا والسيان على الترتيب . ومن ثم فان الأصفر يمتص الأزرق فى تلك المناطق التى لا يعكس فيها الموضوع ضوءاً أزرق ، والماجنتا يمتص الأخضر حيث لا يوجد الأخضر ، والسيان يمتص الأحمر حيث لا يوجد الأحمر .

صبغة صفراء	—	تمتص الضوء الأزرق
صبغة ماچنتا	—	تمتص الضوء الأخضر
صبغة سيان	—	تمتص الضوء الأحمر

الدعامة الفيلمية الشفافة

طبقة شفافة لحماية الفيلم من الخدوش

شكل رقم (٤٤)

ترتيب طبقات فيلم ملون مشغول

العماليات السالبة / الموجبة الملونة :

إن العمليات الملونة مثل الكوداكولور ، والكوداك أكتاكولور ، والايستمان كولور السالب عمليات ملونة متكاملة ثلاثية الألوان مبنية على نفس قواعد التصوير الفوتوغرافى بالألوان الثلاثية . ويتم تشغيل الأفلام بعد التعريض للحصول منها على صور ملونة سالبة تتألف من الألوان المكملة الأصفر والماجنتا والسيان .

ثم تستعمل الأفلام السالبة الملونة بعد ذلك لتعريض الأفلام الموجبة الملونة أو أوراق الطبع الملونة خلالها . والمواد التى يتم الطبع عليها تحتوى أساسا على نفس الطبقات الملونة التى يحتوى عليها الفيلم السالب الملون .

ونحصل على صور موجبة ملونة أو شفافيات ملونة من المواد المطبوعة — أى التى قد استقبلت تعريضاً ضوئياً فى جهاز الطبع — بعد مرورها بدورة تشغيل شبيهة بتلك التى قد استخدمت للحصول على الصور السالبة . وكذلك تتألف هذه الصور من الألوان المكملة .

ومن ثم فان الصبغات المكملة المتكونة على كلا الفيلمين السالب والموجب قد تحكمت فى امتصاص الألوان الأولية أثناء الرؤية والعرض . وإذا كان التعريض الأصلى صحيحا فان الصور الايجابية الملونة سوف تأتى شبيهة تماما بالموضوع الأصلى .

الملحق رقم (٢)

جداول تحويل الوحدات المختلفة للموازين والمقاييس

Temperature Conversion Scale

فى التطبيق الفوتوغرافى العملى بأمريكا توزن الأجسام الصلبة إما بواسطة وحدات Avoirdupois أو بوحدات النظام المترى . وتقاس السوائل بالتالى بواسطة النظام الموحد للسوائل U. S. Liquid أو بالمقاييس المترية . وتقدم الجداول التالية جميع القيم المتكافئة اللازمة لتحويل التركيبات الفوتوغرافية من نظام إلى آخر .

تحويل الموازين من نظام Aavoirdupois الى النظام المترى

الأرطال	الأوقيات	القمحات	الجرامات	الكيلوجرامات
١,	١٦	٧٠٠٠	٤٥٣,٦	٠,٤٥٣٦
٠,٠٦٢٥	١	٤٣٧,٥	٢٨,٣٥	٠,٠٢٨٣٥
		١	٠,٠٦٤٨	
	٠,٠٣٥٢٧	١٥,٤٣	١	٠,٠٠١
٢,٢٠٥	٣٥,٢٧	٣٥٤٣٠	١٠٠٠ ٠٠	١

التحويل من النظام الموحد للسوائل الى المقياس المترى

الجالون	الكارت Quarts	الأوقيات السائلة	الدراهم السائلة	السنتيمترات المكعبة	اللترات
١	٤	١٢٨	١٠٢٤	٣٧٨٥	٣,٧٨٥
٠,٢٥	١	٣٢	٢٥٦	٩٤٦,٣	٠,٩٤٦٣
		١	٨	٢٩,٥٧	٠,٠٢٩٥٧
		٠,١٢٥	١	٣,٦٩٧	٠,٠٠٣٦٩٧
		٠,٠٣٣٨١	٠,٢٧٠٥	١	٠٠,٠٠١
٠,٢٦٤٢	١,٠٥٧	٣٣,٨١	٢٧٠,٥	١٠٠	٩

قمحات لكل أوقية سائلة اضرب فى ٠,٠٦٨٤٧ = جرامات لكل لتر
أوقيات لكل ٣٢ أوقية سائلة اضرب فى ٢٩,٩٦ = جرامات لكل لتر
أرطال لكل ٣٢ أوقية سائلة اضرب فى ٧٤٩,٣ = جرامات لكل لتر

جرامات لكل لتر اضرب فى ١٤,٦٠ = قمحات لكل ٣٢ أوقية سائلة
جرامات لكل لتر اضرب فى ٠,٠٣٣٣٨ = أوقيات لكل ٣٢ أوقية سائلة
جرامات لكل لتر اضرب فى ٠,٠٠٢٠٨٦ = أرطال لكل ٣٢ أوقية سائلة

جرامات لكل لتر تساوى تقريبا أوقيات لكل ٣٠ كارتاً
جرامات لكل لتر تساوى تقريبا أرطال لكل ١٢٠ جالوناً

أوقيات سائلة لكل ٣٢ أوقية اضرب فى ٣١,٢٥ = سنتيمترات مكعبة لكل لتر
سنتيمترات مكعبة لكل لتر اضرب فى ٠,٠٣٢ = أوقيات سائلة لكل ٣٢ أوقية

سم × ٠,٣٩٣٧ = بوصات
بوصات × ٢,٥٤٠٠ = سم

الملحق رقم (٣)

جدول جزئى العناصر الكيميائية

الإسم	الرمز		الوزن الذرى	الرقم الذرى
	بالعربية	بالإنجليزية		
أكتنيوم	كت	Ac	٢٢٧	٨٩
ألومنيوم	لو	AL	٢٦,٩٨	١٣
أنتيمون	نت	Sb	١٢١,٧٦	٥١
أرجون	جو	A	٢١,٩٤٤	١٨
زرنيخ	ز	As	٧٤,٩١	٣٣
باريوم	با	Ba	١٣٧,٣٦	٥٦
بريليوم	بير	Be	٩,٠١٣	٤
بزموت	بز	Bi	٢٠٩	٨٣
بورون	ب	B	١٠,٨٢	٥
بروم	بر	Br	٧٩,٩١٦	٣٥
كادميوم	كد	Cd	١١٢,٤١	٤٨
كالسيوم	كا	Ca	٤٠,٠٨	٢٠
كربون	ك	C	١٢,٠١١	٦
سيزيوم	سز	Cs	١٣٢,٩١	٥٥
كلور	كل	Cl	٣٥,٤٥٧	١٧
كروم	كر	Cr	٥٢,٠١	٢٤
كوبلت	كو	Co	٥٨,٩٤	٢٧
نحاس	كح	Cu	٦٣,٥٤	٢٩
فلور	فل	F	١٩	٩
جاليوم	جل	Ga	٦٩,٧٢	٣١
جرمانيوم	جر	Ge	٧٢,٦	٣٢
ذهب	ذ	Au	١٩٧	٧٩
هافنيوم	هف	Hf	١٧٨,٥٨	٧٢
هليوم	هـ	He	٤,٠٠٣	٢
هيدروجين	يد	H	١,٠٠٨	١
انديوم	ند	In	١١٤,٨٢	٤٩
يود	ى	I	١٢٦,٩١	٥٣
إيريديوم	يم	Ir	١٩٢,٢	٧٧
حديد	ح	Fe	٥٥,٨٥	٦٢
كريبتون	كير	Kr	٨٣,٨	٦٣
رصاص	ر	Pb	٢٠٧,٢١	٨٢
ليثيوم	لث	Li	٦,٩٤	٣
مغنسيوم	مغ	Mg	٢٤,٣٢	١٢
منجنيز	م	Mu	٥٤,٩٤	٢٥
زئبق	ـــ	Hg	٢٠٠,٦١	٨٠

الإسم	الرمز		الوزن الذرى	الرقم الذرى
	بالعربية	بالإنجليزية		
موليبدنم	مو	Mo	٩٥,٩٥	٤٢
نيون	نى	Ne	٢٠,١٨٣	١٠
نيكل	نك	Ni	٥٨,٧١	٢٨
نيونيوم	نيب	Nb	٩٢,٩١	٤١
نيتروجين	ن	N	١٤,٠٠٨	٧
أزميوم	مز	Os	١٩٠,٢	٧٨
أكسجين	ا	O	١٦	٨
بلاديوم	بلد	Pd	١٠٦,٧	٤٦
فسفور	فو	P	٣٠,٩٧٥	١٥
بلاتين	بلا	Pt	١٩٥,٠٩	٧٨
بولونيوم	بل	Po	٢١٠	٨٤
بوتاسيوم	بو	K	٣٩,١	١٩
راديوم	ر	Ra	٢٢٦,٠٥	٨٨
رادون	د	Rn	٢٢٢	٨٦
رهينيوم	نيم	Re	١٨٦,٢٢	٧٥
رهوديوم	يمو	Rh	١٠٢,٩١	٤٥
ودبيديوم	بيد	Rb	٨٥,٤٨	٣٧
روبيديوم	تم	Ru	١٠٩,١	٤٤
سكانديوم	سك	Sc	٤٤,٩٦	٢١
سيلينيوم	سل	Se	٧٨,٩٦	٣٤
سليكون	س	Si	٢٨,٠٩	١٤
فضه	ف	Ag	١٠٧,٨٨	٤٧
صوديوم	ص	Na	٢٢,٩٩١	١١
سترانشيوم	ست	Sr	٨٧,٦٣	٣٨
كبريت	كب	S	٣٢,٠٦٦	١٦
تانتالم	تا	Tu	١٨٠,٩٥	٧٣
تيليريوم	(تلر)	Te	١٢٧,٦١	٥٢
ثليوم	ثل	Tl	٢٠٤,٣٩	٨١
ثوريوم	ثو	Tn	٢٣٢,٠٥	٩٠
قصدير	ق	Sn	١١٨,٧	٥٠
تيتانيوم	تى	Ti	٤٣٧,٩	٢٢
تنجستن	تن	W	١٨٣,٨٦	٧٤
يورانيوم	يو	U	٢٣٨,٠٧	٩٢
ڤاناديوم	ڤا	V	٥٠,٩٥	٢٣
زينون	نو	Xe	١٣١,٣	٥٤
يتريوم	يتر	Y	٨٨,٩٢	٣٩
زنك (خارصين)	خ	Zn	٦٥,٣٨	٣٠
زركونيوم	كن	Zr	٩١,٢٢	٤٠

ثم طبع هذا الكتاب بالهيئة العامة
للكتب والأجهزة العلمية ــ مطبعــة
جامعة القــاهرة ــ فى يوم الخميس
الموافق ٢٠ من نوفمبر سنة ١٩٦٨
مدير المطبعة
احمد سلامة

(مطبعة جامعة القاهرة ١٢٣١/١٩٦٧/٢٠٠٠)



مطبعة جامعة القاهرة

